

Faktorer som påverkar valet av grundförstärkningsmetod

Bill Winter

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik
Vasa 2016



EXAMENSARBETE

Författare:	Bill Winter
Utbildningsprogram och ort:	Byggnadsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ/Fördjupning:	Samhällsteknik
Handledare:	Tom Lipkin

Titel: *Faktorer som påverkar valet av grundförstärkningsmetod*

Datum 29.03.2016

Sidantal 42

Abstrakt

Vid vägbyggnadsprojekt krävs grundläggningsarbeten för att få en tillräcklig bärighet samt livslängd på konstruktionen. Valet av dessa påverkas av både ekonomiska och tekniska faktorer. Att känna till dessa faktorer är viktigt för att kunna välja rätt förstärkningsmetod för olika förhållanden.

Målsättningen för ingenjörsarbetet var att ta reda på dessa faktorer som påverkar valet av grundförstärkningsmetod för ett vägbyggnadsprojekt. Arbetet är uppdelat i två delar. I första delen av arbetet beskrivs de vanligaste grundförstärkningsmetoderna, samt för- och nackdelar med dessa. I andra delen av arbetet presenteras faktorerna som påverkar valet av metoden ur en teknisk och ekonomisk synvinkel.

Språk: svenska

Nyckelord: grundförstärkning

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Bill Winter
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot:	Yhdyskuntatekniikka
Ohjaajat:	Tom Lipkin

Nimike: Tien perustamistapaan vaikuttavat tekijät

Päivämäärä 29.03.2016 Sivumäärä 42

Tiivistelmä

Tienrakennusprojekteissa vaaditaan pohjanvahvistustöitä jotta saavutetaan vaadittava kantavuus sekä riittävä rakenteellinen elinikä. Menetelmien valintaan vaikuttavat sekä taloudelliset että tekniset tekijät. Näiden tekijöiden tunnistaminen on tärkeää, jotta eri olosuhteissa käytetään oikeaa vahvistusmenetelmää.

Insinööritöiden tavoitteena oli selvittää kyseiset tekijät, jotka vaikuttavat pohjanvahvistusmenetelmän valintaan tienrakennusprojektissa. Työ on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa selitetään tavallisimmat pohjanvahvistusmenetelmät, sekä niitten edut että haitat. Työn toisessa osassa selitetään valintaan vaikuttavat tekijät, sekä teknisestä että taloudellisesta näkökulmasta katsottuna.

Kieli: ruotsi Avainsanat: pohjanvahvistus

BACHELOR'S THESIS

Author:	Bill Winter
Degree Programme:	Construction Engineering, Vaasa
Specialization:	Civil engineering
Supervisors:	Tom Lipkin

Title: Factors that affect the choice of a ground reinforcement method

Date	29.03.2016	Number of pages	42
------	------------	-----------------	----

Summary

Foundation reinforcements are needed in road construction to achieve the required strength against loads and to achieve a sufficient life span. The choice of methods is influenced by both technical and economic factors. It is important to identify these factors to be able to use the correct reinforcement method for various conditions.

The goal with this thesis was to find out these factors that affect the choice of the reinforcement method for a road construction project. This thesis is divided in two parts. The most common reinforcement methods and the pros and cons with these are explained in the first part. Factors that affect the choice of the reinforcement method, both from economic and technical point of view are explained in the second part.

Language: swedish	Key words: foundation reinforcement
-------------------	-------------------------------------

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Uppdragsgivare	1
1.2 Syfte och mål.....	1
1.3 Metoder	2
2 Grundundersökning.....	3
2.1 Metoder	4
2.1.1 Testgropar	4
2.1.2 Borrning	4
2.1.3 Viktsondering.....	4
2.1.4 CPT-sondering (Cone Penetration Test).....	5
2.1.5 Dynamisk borrning	6
2.1.6 Vingborrning.....	6
3 Massabyte.....	7
3.1 Massabyte genom grävning.....	7
3.2 Massabyte genom bankuppfyllning	8
4 Dynamisk komprimering.....	9
5 Djupstabilisering	10
5.1 Pelarstabilisering	10
5.2 Massastabilisering	12
5.3 Den kemiska reaktionen hos kalk.....	13
6 Frysning.....	13
7 Injektering.....	13
8 Pålning	14

8.1	Påltyper.....	15
8.1.1	Spetsburna pålar.....	15
8.1.2	Friktionspålar	16
8.1.3	Kohesionspålar.....	17
8.2	Pålmaterial.....	18
8.2.1	Betongpålar	18
8.2.2	Träpålar	19
8.2.3	Stålpålar	19
9	Geotextiler	19
9.1.1	Geonät	20
9.1.2	Filterdukar.....	20
9.1.3	Stålförstärkning.....	21
9.1.4	Geotextilers funktionssätt	21
9.1.5	Frånskiljning	21
9.1.6	Filtrering	22
9.1.7	Förstärkning	22
10	Pålplattor	22
10.1	Typer av plattor	23
10.1.1	Jämntjocka plattor.....	23
10.1.2	Svampplattor.....	23
10.1.3	Balkplattor.....	24
11	Pålhattskonstruktion	24
12	Vertikaldränering	25
13	Valet av grundförstärkningsmetod	26
13.1	Hållfasthetsegenskaper	26
13.2	Avstånd till fast botten.....	27

13.3	Byggtid	28
13.4	Grundvatten	29
13.5	Omgivning	29
13.6	Tillgång till byggnadsmaterial och - maskiner	32
13.7	Jordens aggressivitet.....	34
13.8	Geografi	34
13.9	Vibrationer.....	35
13.10	Tolerans	36
13.11	Livscykel	37
13.12	Långtidspåverkningar för de olika metoderna.....	38
13.13	Jordens stenighet.....	39
14	Grundförstärkning i Österbotten.....	41
14.1	Geotekniska förhållanden	41
14.2	Ekonomiska faktorer.....	41
15	Sammanfattning och diskussion	42
	Källförteckning	44

1 Inledning

Redan i början av mina studier hade jag bestämt mig för att inrikta mig på studier inom samhällsteknik. Samhällsteknik är ett väldigt brett område som omfattar det mesta inom byggandet och det finns alltid nya saker att lära sig. Medelåldern inom infrabranschen är hög och i framtiden kommer det att finnas många lediga arbetsplatser då gamla arbetstagare går i pension. Detta var även en bidragande orsak till varför jag valde samhällsteknik.

1.1 Uppdragsgivare

Examensarbetet är gjort på beställning av Tom Lipkin från Yrkeshögskolan Novia. Jag hittade inget arbete att göra för en privat aktör, trots en hel del sökande, så jag fick chansen att göra arbetet åt skolan istället.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att ta reda på faktorer som påverkar valet av grundförstärkningsmetod för ett vägbygge ur ekonomiskt och teknisk synvinkel. Målet är att läsaren skall få en uppfattning om vilka faktorer som påverkar valet av grundförstärkningsmetoden vid ett vägbyggnadsprojekt.

Målet är även att själv få en allmänblick i planering av grundförstärkningsarbeten. Arbetet omfattar ett brett område och informationen går att tillämpa på de flesta projekten inom infrabyggnade.

I Finland finns det väldigt lite material på svenska angående grundläggningsarbeten. Nästan allt material är på finska, vilket kan vara problematiskt speciellt för svenskspråkiga personer. Detta arbete kunde i så fall användas som undervisningsmaterial inom grunderna för infrabyggnade.

1.3 Metoder

Examensarbetet har utförts genom att läsa litteratur om ämnet och sammanställa denna information till en helhet. Arbetet är uppdelat i två delar. I första delen beskrivs metoder för grundundersökning och de olika grundförstärkningsmetoderna. I andra delen beskriv faktorerna som påverkar valet av dessa.

2 Grundundersökning

Grundundersökning innebär undersökning av jordens och berggrundens geotekniska egenskaper med hjälp av olika metoder. Målet är att få information om jordens egenskaper med tanke på framtida planering, och att få en så bra tredimensionell bild av området som möjligt. (Sarsby, s. 52)

Omfattningen på grundundersökningsarbetet beror på projektets storlek och kvalitet, belastningar, tiden som finns tillgänglig för planering, samt de geotekniska förhållandena på området. Alla undersökningsmetoder behövs inte, speciellt inte vid mindre projekt. I brådskande projekt kan vissa metoder utföras samtidigt. Vid linjeprojekt (väg-, järnväg-, kabel- och rörarbeten osv.) kan undersökningen delas upp på olika årtider. Metoderna bör alltid väljas så, att man får så bra information som möjligt för de olika byggnadsskedena.

(RIL 156, s. 78)

Undersökningen kan i enklaste fall endast bestå av en okulär besiktning, kompletterat med något enstaka borrhål. I mer krävande fall krävs en grundlig undersökning, bestående av ett omfattande program av provborrningar, laborietest och fältanalyser. Den som utför undersökningen, bör vara expert inom området och denne bör göra samarbete med planeraren som känner till kraven för projektet. (Sarsby, s. 53)

Genom grundundersökning får man reda på följande saker:

- a) Områdets geotekniska lämplighet för byggprojektet
- b) Information, som underlättar valet av grundbyggnadsmetoden
- c) Förändringar som kan uppstå i grunden, både naturligt och under byggprojektets gång
- d) Jordlagrens tjocklek, djup och egenskaper

(Whitlow, s. 503)

2.1 Metoder

Här förklaras de vanligaste grundundersökningsmetoderna som används i Finland.

2.1.1 Testgropar

Grävning av testgropar är den mest enkla metoden för att undersöka jorden, och även alldeles tillräcklig för de flesta mindre projekt. Groparna möjliggör både en horisontell och vertikal blick i jordlagret. Man får information om grundvattennivån, jordens bärighet och de olika jordlagren. (Sarsby, s. 56)

I kohesionsjordar och övriga mjukare jordlager är det oftast fördelaktigt med testgropar istället för provborrningar. Groparna grävs med hjälp av grävmaskin eller för hand. Nackdelen är att djupet begränsas vanligtvis till 2 - 3 m pga. stabiliteten på schaktet. (Whitlow, s. 506)

Jordprover kan tas från sidorna och botten på testgropen. Testgropar kan även kombineras med provborrning genom att provborra i botten av testgropen. Grävning av testgropar är en snabb och billig metod för att undersöka jorden, men kostnaderna ökar dramatiskt då djupet ökar och schaktet måste stödas av stödväggar. (Sarsby, s. 56)

2.1.2 Borrning

Med provborrning får man reda på större mängd information angående de geotekniska egenskaperna på området, än via testgropar. Provborrning kan göras i princip hur djupt som helst, om de geotekniska förhållandena är lämpliga. Det finns väldigt många olika metoder, men här behandlas några av de mest vanliga i Finland.

2.1.3 Viktsondering

Viktsondering är vanligaste borrhingsmetoden i Finland. Detta beror på jordlagrens snabba variation och småskalighet, vilket kräver ett tätt provtagningsnät. Skulle jordlagren vara mer homogena, kunde man använda sig av färre borrhörpunkter och göra noggrannare undersökningar i dessa. Det är frågan om en allmänsond, som ger enkel grundinformation om jordlagret. Metoden kan användas på allt från mjuk lera till halvfast morän.

Viktsondering görs i princip alltid med en larvbandsförsedd borrhingsvagn. Före den egentliga provtagningen görs en förborring där ytliga rötter, tjäle och eventuell asfalt avlägsnas. Målet är att avlägsna faktorer som kan ge ett förvrängt provresultat.

Vid provtagningen mäts först om borren trycks ner enbart genom tyngdkraften. Vikten och trycket ökas efter att provtagningen framskrider och enligt hastigheten på nedtryckningen. Grundprincipen är, att borren belastas endast med den minimivikt som borren fortfarande sjunker med. Större vikt än detta får inte användas. Om borren sjunker med en högre hastighet än 50 mm/s, bör ett mindre tryck användas.

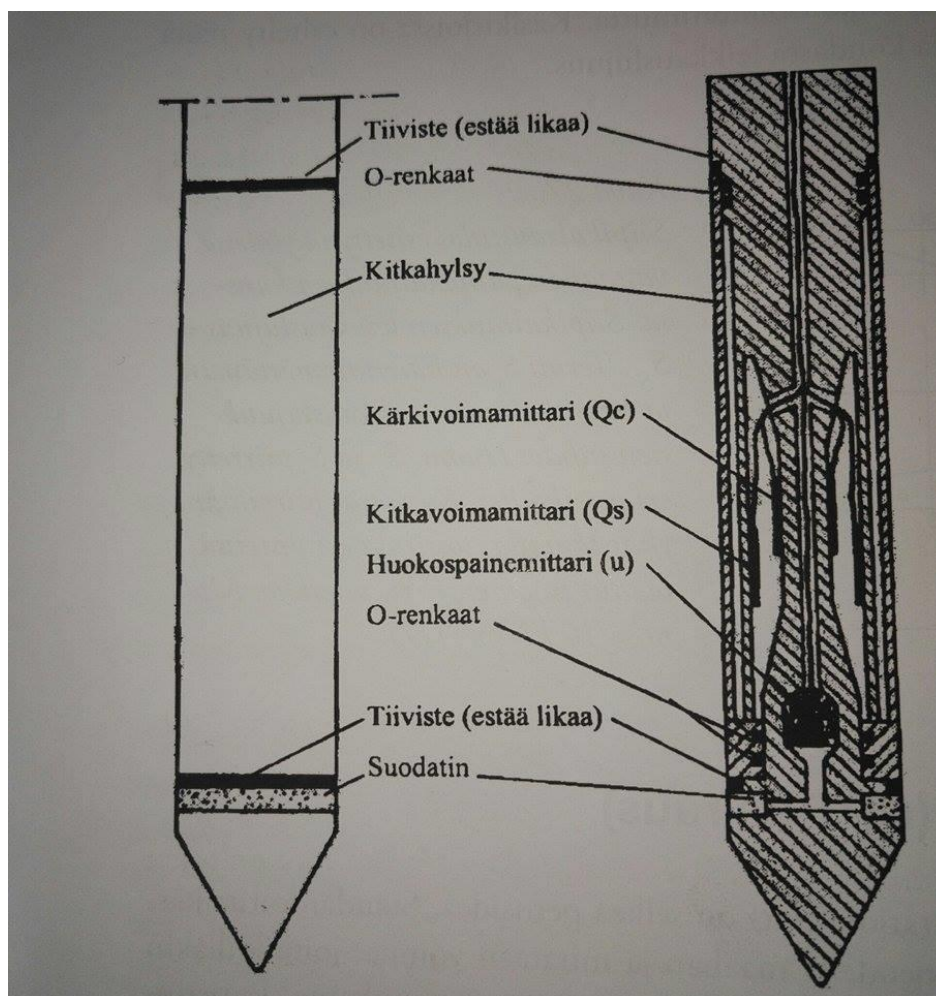
När sonden inte längre sjunker med maximitryck, börjar sonden roteras. Sonden roteras och varvantalet mäts vid varje 20 cm nedsjunkning. Då sonden inte längre sjunker med rotering, appliceras slagkraft på sonden. När sonden inte längre sjunker med slagning kan provtagningen avslutats.

Som resultat fås ett diagram som beskriver bärigheten och jordtypen på olika djup. Utifrån denna information kan man planera fortsatta åtgärder. (Jääskeläinen, 2014, kap 2.1)

2.1.4 CPT-sondering (Cone Penetration Test)

Grundprincipen för denna metod är väldigt enkel. En standardiserad spets trycks i jorden och kraften som behövs vid olika djup mäts. Kraften som behövs beskriver jordtypen som spetsen befinner sig i. Med CPT-sondering fås en noggrannare bild av jordlagren än genom viktsondering.

Metoden lämpar sig endast för mjuka, stenfria jordarter. I Finland är denna metod relativt ovanlig pga. våra steniga markförhållanden. . (Jääskeläinen, 2014, kap 2.7)



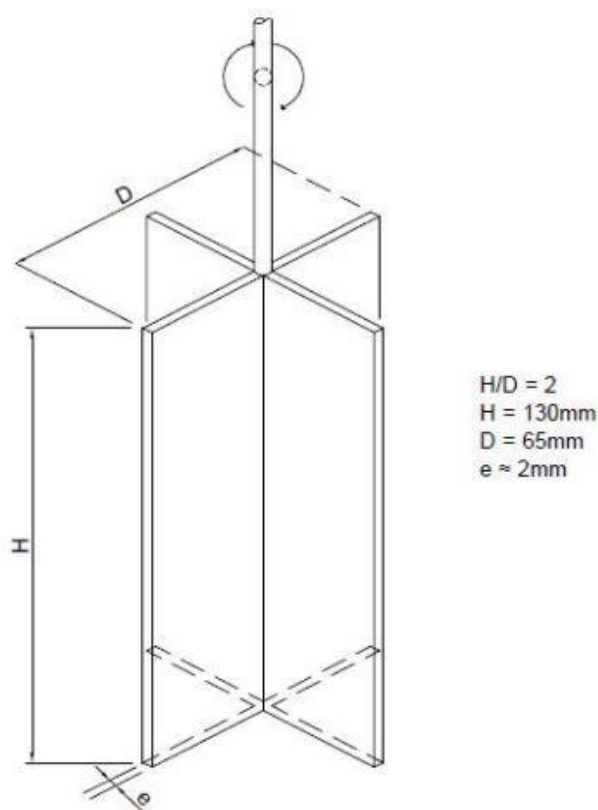
Figur 1. Spetsen på en CPT-sond (Jääskeläinen, 2014)

2.1.5 Dynamisk borrarning

Dynamisk borrarning utförs genom att en vikt på 63,5 kg släpps ner från höjden 50 cm mot borren, som sjunker ner i jorden pga. slagkraften. Antalet slag räknas vid varje 20 cm. Borrarningen avslutas då måldjupet nås, tills borren träffar berg, eller då nedsjunkningen är mindre än en millimeter per slag.

2.1.6 Vingborrarning

Med denna metod får man reda på skjuvhållfastheten i mjuka jordar som gytta, lera och torv. Borren sänks ner i jorden och roteras. Skjuvhållfastheten bestäms utifrån en faktor som är beroende av borrens mått och momentet som krävs för att rotera den. Proven kan göras på olika djup som bestäms av planeraren. (Jääskeläinen, 2014)



Figur 2. Typisk vingborr (Jääskeläinen, 2014)

3 Massabyte

Massabyte är en metod som innebär att den befintliga jordmassan grävs bort och ersätts med en annan jordtyp med bättre tekniska egenskaper. Massabyte kan utföras på två olika sätt, genom grävning eller genom bankuppfyllning.

3.1 Massabyte genom grävning

Massabyte genom grävning är en metod där de mjuka och sättningsbenägna jordarterna grävs bort och ersätts med fyllnadsmassor. De mjuka jordarterna består vanligtvis av lera, gytta, torv och fin sand, eller en kombination av dessa. Den mjuka jordarten grävs bort till ett förbestämt djup, eller tills hård botten nås (t.ex. berg). Djupet begränsas främst av stabiliteten på schaktet och över 4 m grävdjup är sällsynt. Vid vissa undantagsfall kan djupet vara upp till

6 m, men då bör man fästa extra noggrannhet till stabiliteten och stödet av schaktet med t.ex. stödväggar. (Nauska & Havukainen, 1998, s. 56)

Massabyte lämpar sig bäst på till ytan mindre områden med ett grunt lager (0 – 4 m) mjuk sättningsbenägen jord och som har en hård, bärande jordart direkt under. Massabyte orsakar väldigt lite vibrationer och störningar för omgivningen och lämpar sig bra i närheten av ömtåliga byggnader och runt pålade områden där längden på pålarna skulle bli liten.

Vid utförandet av partiellt massabyte bör sättningar som kan uppstå i jordlagret under fyllnadsmassorna pga. det ökade jordtrycket beaktas. Vid massabyte bör även beaktas eventuella fortsatta åtgärder och byggnadsarbeten. Om man t.ex. vill påla på området där massabyte utförts, bör fyllnadsmassorna väljas i förväg så att de lämpar sig för pålning. (Nauska & Havukainen, 1998, s. 56)

Även följande saker bör beaktas vid massabyte:

- Djupet med tillräcklig noggrannhet
- Tillräcklig stabilitet på schaktet, speciellt då ras kan orsaka skador på övriga konstruktioner, eller då grävdjupet är större än normalt
- Deponering av massor
- Massornas påverkan på grundvattnet

Genom att använda rätt sorts fyllnadsmaterial och filterduk, minimeras risken för att fyllnadsmassorna sjunker och blandas med underliggande jordlager. (Liikennevirasto, 2014b, s. 28)

3.2 Massabyte genom bankuppfyllning

Om djupet på den mjuka jorden är så stor att massabyte via grävning inte går att utföra, kan massabytet utföras med hjälp av en jordbank. Vanliga djupet brukar vara mellan 5 och 10 m, men även närmare 20 m djupa arbeten har utförts.

Den eventuella hårda matjorden grävs bort och ersätts med en hög bank av fyllnadsmassa. Jordbanken trycker undan de mjuka jordarna framåt och åt sidorna, som sedan under arbetets gång grävs bort. För att arbetet ska lyckas, krävs att underjorden belastas med en last som överskrider dess brotthållfasthet. (Liikennevirasto, 2011, s. 11)

Metoden kräver vanligtvis förgrävning. Matjorden och det hårda ytlagret grävs bort till ett förbestämt djup. Grävningen kan antingen göras från ovanpå den befintliga jorden, eller från jordbanken medan arbetet framskrider.

För att försäkra sig om att fyllnadsmassorna ersätter den mjuka jorden bör massorna som trycks upp framför och vid sidorna av banken grävas bort under arbetets gång. Detta görs alltid från ovanpå jordbanken. (Liikennevirasto, 2011, s. 24)

4 Dynamisk komprimering

Dynamisk komprimering är en metod som grundar sig på mekanisk rörelse-energi. En maskin lyfter upp en vikt på 80 ... 2000 kN till en viss höjd och sedan låter den falla fritt mot jordytan. Stabiliseringseffekten sträcker sig till djupet 10...30 m och metoden lämpar sig bäst för jordarter som består av sand, grus, silt och en kombination av dessa. (Nauska & Havukainen, 1998, s. 36)

Vikten som används skall vara minst 50 kN/m². Vikten är en hel enhetlig kropp som bevarar sin ursprungliga form och vikt under hela arbetet.

Fallhöjden skall kunna bestämmas med 0,5 m noggrannhet. Botten på den upplyfta vikten är i horisontellt läge och vikten faller lodrätt.

Före arbetet påbörjas, byggs ett minst 0,3 m tjockt lager kross med kornstorleken 0/63 ovanpå jorden som stabiliseras. Efter stabiliseringen jämnas ytan ut med likadan kross.

Fallpunkterna mäts och märks ut med ± 100 mm noggrannhet. Området delas upp i ett rutnät och vikten fälls ned vid knutpunkterna. Avståndet mellan knutpunkterna är högst två gånger diametern på vikten.

Fallgroparna får ha en bottenlutning på högst 1:10 och ett maximidjup på 0,3 m. Om dessa värden överskrids, fylls gropen med 0/63 mm kross och komprimeras med vält.

Efter varje stabiliseringsrunda fylls groparna ut och komprimeras före följande runda. Ytan komprimeras med en ≥ 2000 kg vält minst fyra gånger. (InfraRYL 2010, s. 86)

5 Djupstabilisering

Djupstabilisering innebär att olika bindemedel blandas i den befintliga jorden för att få en ökad bärighet. Bindemedlet är vanligtvis cement, kalk eller en kombination av dessa. Målet med stabiliseringen är att öka bärigheten hos jordarter, samt minska sättningar. Före stabiliseringsarbetet bör provgrävningar och laborationer på jordarten utföras för att kunna bestämma mängden och typen bindemedel som används.

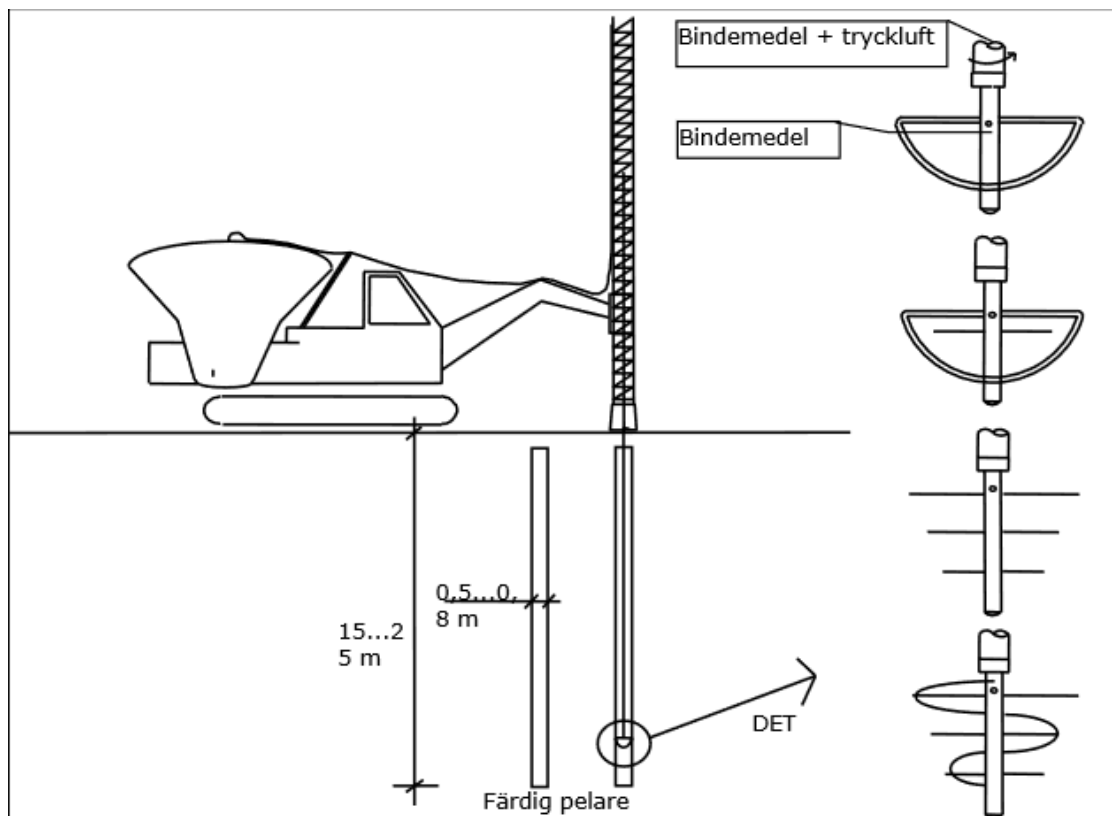
5.1 Pelarstabilisering

Pelarstabilisering utförs genom att pelarmaskinens matningsända sänks ner till samma djup som undre kanten på den tänkta pelaren. Sedan lyfts matningsändan långsamt uppåt, samtidigt som massan sprutas ner i jorden med hjälp av tryckluft. Matningsändan liknar en propeller och roterar samtidigt som den lyfts upp. Bindemedlet blandas med jorden och bildar ”pelare” som består av en blandning av jordmassan och bindemedlet.

Pelarna är vanligtvis 500 - 800 mm tjocka. Ju tjockare pelare, desto svårare blir det att trycka ner pålningsändan i marken. Dessutom kan det bli svårt att få bindemedlet att sprida sig jämt över hela diametern. Längden är vanligtvis runt 15-20 m, men i vissa fall kan även 25 m långa pelare göras. Dessa är dock inte kostnadseffektiva och man vill istället använda sig av flera kortare pelare.

För att få en bra bärighet och kvalitet krävs en noggrann blandning av bindemedlet, konstant och jämn matning och att man använder så lite tryckluft som möjligt. För stort lufttryck orsakar att bindemedlet sprider sig på en större yta än den tänkta pelaren och densiteten bindemedel i pelaren minskar.

Mängden bindemedel som matas ned i jorden följs med jämna mellanrum. Vanligtvis kollas vid varje 0,2 m hur mycket bindemedel som åker ner för att få en så pass jämn kvalitet som möjligt. Med modern utrustning kommer man upp till en noggrannhet på 1 kg per längdmeter pelare. (Liikennevirasto, 2010, s. 11)



Figur 3. Pelarstabilisering

Vid nedsänkning av matningsändan blåses luft ut ur munstycket för att förhindra jord från att komma in i munstycket. Vid matning av bindemedel ska lufttrycket hållas så lågt som möjligt för att förhindra leran från att störas. Lufttrycket bestäms före arbetet påbörjas. Långa pelare kräver ett högre lufttryck och lufttrycket minskas vanligtvis ju högre upp man kommer. Vid stora pelarlängder (över 15 m) är det nödvändigt att minska lufttrycket stegvis för att få en jämn blandning av bindemedlet. (Liikennevirasto, 2010, s. 11 - 12)

Bränd kalk var ett väldigt vanligt bindemedel ännu till slutet på 1980 - talet. Kalk har bra diffusionsegenskaper och fortsätter öka sin bärighet under användningstiden. Nackdelen är att ökningarna i bärighet inte blir så stora och att kalk inte går att använda i humushaltiga jordar.

Att endast använda cement som bindemedel har även sina nackdelar. Dels är det svårt att få jämna, homogena pelare, samt att cementpelare är sköra och klarar endast av tryckspänningar.

Vanligaste bindemedelstypen idag är en blandning mellan bränd kalk och cement. Man får en bättre hållfasthet än med endast kalk och en bra hållfasthet även i humushaltiga jordar.

Dessutom bidrar kalken till segare och homogenera pelare. Vanligtvis blandas kalk och cement med förhållandet 1:1, men även andra förhållanden kan användas beroende på de önskade egenskaperna. (Liikennevirasto, 2010, s. 12)

Pelarna har vanligtvis en bärighet som är 5 – 15 gånger större än den ursprungliga jorden. Men på grund av att kvaliteten varierar mycket uppnår man inte alltid den beräknade bärigheten. Pelarstabilisering lämpar sig endast på plan mark. På lutande ytor blir stabiliseringen väldigt osäker och kan i värsta fall leda till farosituationer. (Liikennevirasto, 2010, s. 13)

Bindemedlet som används skall i första hand vara CE-märkt. Finns märkningen inte, ska egenskaperna kunna bevisas tillförlitligt med prover gjorda på arbetsplatsen. Bindemedlet skall ha kända egenskaper och alla ämnen i bindemedlet skall vara angivna.

Bindemedlet skall ha en tillräcklig fluiditet som möjliggör jämn matning. Brända kalken skall ha en kornstorlek på 0/0,2, vilket betyder att minst 80 % av materialet rinner genom 0,2 mm sikten. Maximikornstorleken är < 1 mm.

Cementen skall uppfylla kraven i standarden SFS-EN 197-1 och vara CE-märkt. (InfraRYL 2010, s. 95)

5.2 Massastabilisering

Massastabilisering innebär att bindemedel blandas i jorden så att bindemedlet och jorden bildar en homogen blandning. Stabiliseringen kan antingen göras på plats eller genom att man gräver upp jorden och blandar med bindemedlet i en skild bassäng eller trumma.

Massastabilisering utförs med grävmaskin som är utrustad med en stabiliseringsända.

Metoden konkurrerar med massabytte på grunda mjuka områden dit det är svårt att få passliga fyllnadsmassor. T.ex. transportsvårigheter eller t.o.m. att det helt enkelt inte finns passliga fyllnadsmassor i närheten. Man kan även utnyttja stabiliserade jorden i ljudvallar, parker osv. (Nauska & Havukainen, 1998, s. 33)

5.3 Den kemiska reaktionen hos kalk

Kalken framställs genom att bränna den rena kalkstenen i 1000 graders temperatur. Koldioxiden frigörs och man får kalciumoxid, CaO. Kalk som är i oxidform (CaO) reagerar väldigt bra på stabiliseringsreaktionen. Ju mera oxid kalken innehåller, desto starkare blir reaktionen. Kalk som är i denna form kallas *bränd kalk*.

När man blandar ner den brända kalken i jorden, släcks den då den kommer i kontakt med vatten och bildar kalciumhydroxid. Detta frigör värme som i sin tur snabbar ytterligare på stabiliseringsreaktionen.

Jordens kisel- och aluminiumpartiklar reagerar med kalken och höjer rejält på jordens pH-värde och leder till en större hållfasthet. Dessutom binder kalken vissa grundämnen, de löses inte upp lika lätt och kan leda till en renare jord. Kalkstabilisering är ett utmärkt sätt att stabilisera jorden på vid t.ex. soptippar och övriga ställen med förorenad jord.

Med andra ord kan man säga att stabilisering med kalk innebär reaktionen mellan kalken och de fina partiklarna i jorden. (Nordkalk 2012)

6 Frysning

Frysning är en termisk stabiliseringsmetod som ökar bärigheten hos flytande och lösa jordarter ända upp till 3 ... 10 MN/m².

Vid frysning sänkes rör med diametern 100...200 mm i jorden. Rören är installerade med cirkulationsslangar för köldmedium. Som medium används kalcium- eller magnesiumklorid eller flytande kväve. Jorden fryser ned runt rören och man strävar till att få ett helt nedfrost område. Frysning används endast som en tillfällig stabiliseringsmetod och i större byggnadsprojekt som en säkerhetsåtgärd under projektets gång. (Nauska & Havukainen, 1998, s. 35)

7 Injektering

Med injektering menas att ett flytande ämne som hårdnar med tiden pumpas i konstruktionen som ska förstärkas. Ämnet kan vara t.ex. cement, uretan eller epoxi. Syftet är att få en ökad bärighet och livslängd i jord och berg, samt i betongkonstruktioner. Vanligaste

användningsändamålen är broar, dammar, kanaler och tunnelkonstruktioner. I jordbyggnads- och tunnelarbeten används vanligtvis cement som injekteringsmedel. (Its-vahvistus)

8 Pålning

Pålning är en grundförstärkningsmetod som används då det inte går att uppnå tillräcklig bärighet på jorden med övriga metoder. Pålarna överför horisontella och vertikala laster till bärande jord eller berg genom den dåligt bärande jorden.

Pålen fungerar som en bärande konstruktion som överför både tryck- och dragkrafter och ibland även böjning. Pålarna delas upp i stöd-, friktions- och kohesionspålar.

Pålarna kan vara tillverkade av trä, stål eller betong. Betongpålar används vanligen i husgrunder och för att stabilisera jordbankar. Träpålar används endast för att stabilisera jordbankar. Stålpålar används vid större broar och hus.

Pålar går inte att inspektera eller reparera i efterhand. Därför är det viktigt att pålningsarbetet planeras och utförs noggrant.

Enligt Paalutusohje 2011 delas pålningsarbetet (paalutustyöluokka) upp i tre klasser, PTL1, PTL2 och PTL3. Vid bestämning av klass beaktas arbetets omfattning, grundförhållanden, påltyp, samt kvaliteten på utrustning och övervakning. (Paalutusohje, 2011)

- PTL1

Tillämpas på små projekt där belastningarna på pålarna blir små, samt på projekt som inte uppfyller kraven för PTL2

- PTL2

Omfattar alla vanliga pålningsarbeten

- PTL3

Speciellt krävande arbeten som ställer höga krav på både material och toleranser

Information som behövs före pålningsarbetet påbörjas:

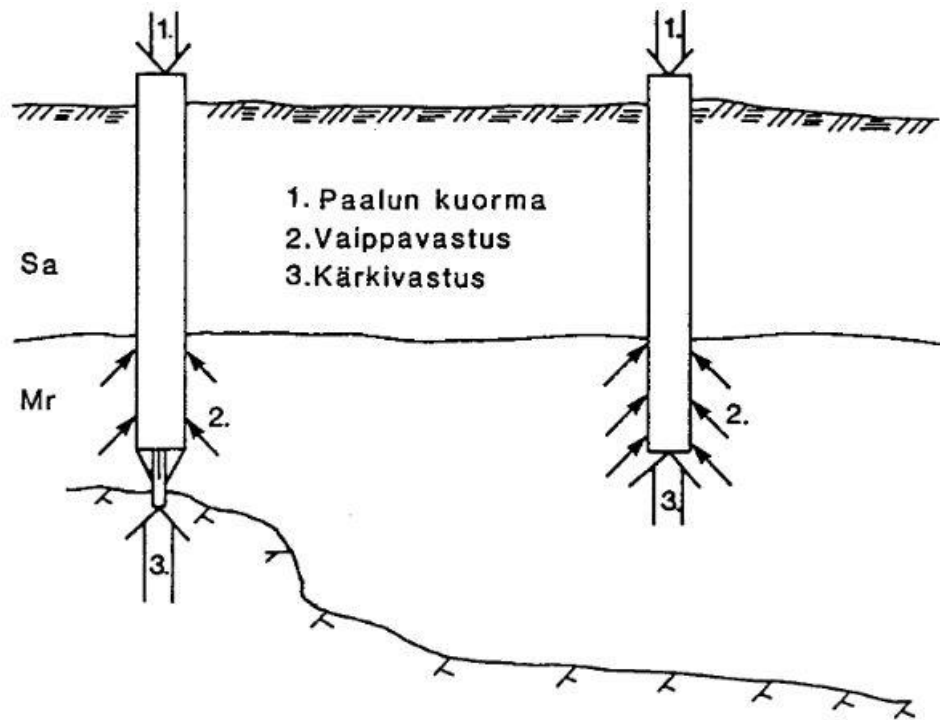
- Grundundersökningsrapport
- Planerings- och byggnadsdokumentation (ritningar)
- Arbetsplatsförhållanden
- Byggnader, vägar, rör/kablar, fornfynd och övrigt som kan begränsa arbetet
- Eventuella föroreningar och korroderande ämnen i jorden som påverkar valet av påltyp och – material.
- Gränsvärden för miljöskador som buller, vibration och föroreningar, samt övriga begränsningar angivna i miljöskyddslagen
- Information om tidigare utförda jordbyggnadsarbeten på området
- Samtidigt pågående byggnadsprojekt som kan ha en inverkan på arbetet, t.ex. tunnelarbete eller sänkning av grundvattennivå (Lyöntipaalutusohje, s. 22)

8.1 Påltyper

Pålar och pålssystem kan delas in i olika grupper. Klassificeringen görs enligt pålens material (betong, stål, trä), funktionssätt (friktion, spetsburen), utförandesätt (slagna, borrarade, schaktade) och enligt omgivningspåverkan (massförträngande eller icke-massförträngande). Klassificeringen är dock inte alltid så lätt, eftersom en stor del av pålarna är så kallade kombinationspålar och ofta används olika påltyper parallellt. Inom vägbyggnad används främst armerade spetsburna betongpålar. (Olsson, 1993, s.56)

8.1.1 Spetsburna pålar

Spetsburna pålar överför lasterna via sin spets ner till underliggande berg eller annan fast, bärande jordart. En del av lasterna kan överföras till omkringliggande jord via friktion. Före användning av stödpålar ska de tekniska och ekonomiska möjligheterna granskas. (Tiehallinto, 1999, s. 13)



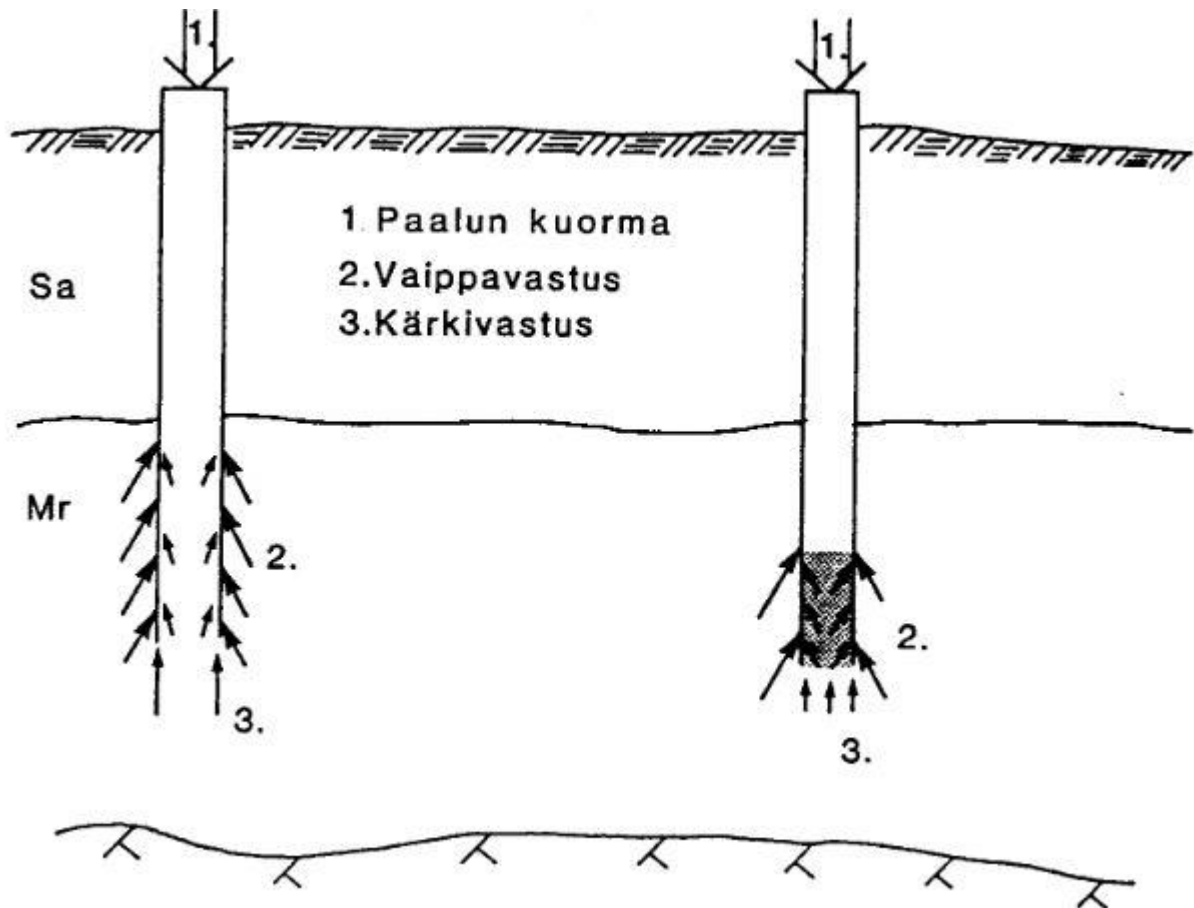
Figur 4. Spetsburen påle (Ter spalkkipaalut 1999)

8.1.2 Friktionspålar

Friktionspålar överför laster till omkringliggande jord via friktionen vid manteln. Pålarna kan vara öppna eller slutna vid spetsen. Öppna pålar har två olik  funktionsprinciper:

- Lasterna överförs via friktionen i den yttre och inre manteln till omkringliggande jord. En del av lasterna överförs via spetsen till underliggande jord.
- Jord som tränger in i p len bildar en s.k. plugg genom friktionen mellan jorden och den inre manteln. En del av lasterna överförs till underliggande jord på liknande sätt som en spetsburen påle.

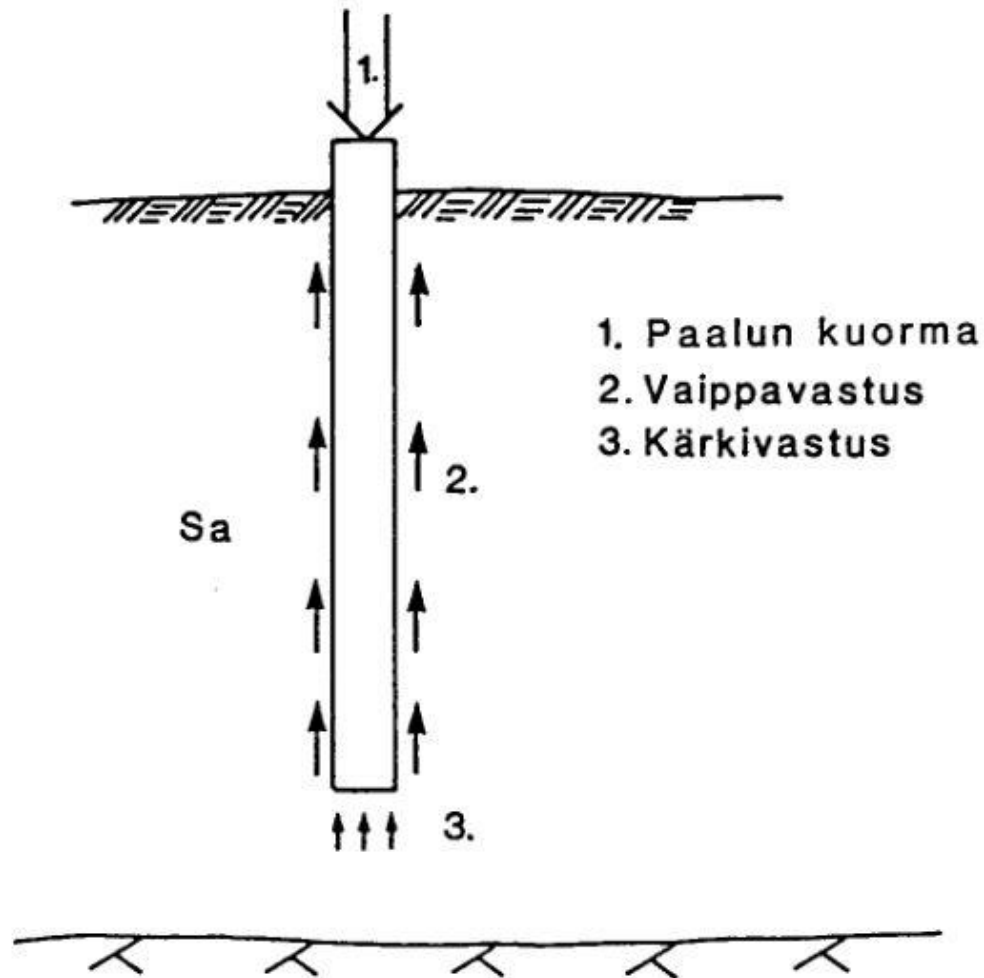
Friktionspålar används i fall då lagret morän eller annan grovkornig tät jordart ovanför underliggande ber  r tillräckligt tjock. (Tiehallinto, 1999, s. 14)



Figur 5. Friktionspålar (Tiehalinto, 1999)

8.1.3 Kohesionspålar

Kohesionspålarna överför lasterna via adhesion som uppstår mellan pålens mantel och omkringliggande jord. Lasterna som överförs via spetsen är små. Konstruktioner grundlagda med kohesionspålar är sättningsbenägna eftersom pålarna belastar sättningsbenägna jordarter, som t.ex. lera. Kohesionspålar i fasta konstruktioner kan endast användas i fall där lagret kohesionsjord är speciellt tjock och hård. I Finland finns inte jordlager där det skulle vara ekonomiskt och tekniskt lönsamt att använda kohesionspålar. (Tiehallinto, 1999, s. 15)



Figur 6. Kohesionspåle (Teräsputkipaalut 1999)

8.2 Pålmaterial

Pålarna indelas efter deras tillverkningsmaterial till tre olika grupper, armerade betongpålar, träpålar och stålpålar.

8.2.1 Betongpålar

Betongpålarna finns i tre olika dimensioner, 250 * 250 mm, 300 * 300 mm och 350 * 350 mm. Av dessa är dimensionen 300 mm vanligast använd i Finland. Enskilda pålar har längden 3...15 m, men genom skarvning kan man uppnå betydligt större pållängder. Betongpålar är alltid armerade och tillverkade av en betong med hög hållfasthet. (Jääskeläinen, 2009, s. 168)

Betongpålar är överlägset vanligast använda påltypen i Finland och ca 80 % av alla pålningsarbeten utförs med denna typ av påle. Fördelen med betongpålar är att de kan användas till många olika typer av konstruktioner, har en bra livslängd och är relativt billiga att tillverka. (Jääskeläinen, 2009, s. 168)

Betongpålar har en väldigt bra bärighet, konstruktionen blir stadig och inte benägen för sättningar. Betongpålarna kan även användas som friktionspålar, där pålarna slås till ett förbestämt djup bestämt utifrån grundunderökningsresultatet. (<http://www.rakentaja.fi/> hämtat 28.01.2016)

8.2.2 Träpålar

Träpålar finns i diametrarna 150 mm, 175 mm och 200 mm. Dessa fungerar vanligtvis genom friktionsmetoden, dvs. friktionen mellan manteln och jordlagret. Träpålar får inte slås mot berg pga. skador som kan uppstå i pålspetsen. Dessa används endast vid lätta och tillfälliga konstruktioner, samt för att stabilisera jordbankar.

8.2.3 Stålpålar

Vanligaste använda stålpåltypen är slanka stålpålar. De har en liten mantelyta och fungerar som spetsburna pålar, där lasterna i huvudsak överförs via spetsen ner till berg. Stålpålar används vanligtvis vid grundläggning av hus. Vid infrabyggande är det inte så vanligt att använda stål.

I stora projekt där stora laster skall överföras och knäckning är dimensionerande, används grova stålpålar. Detta kan uppstå då pålen har en stor fri längd och begränsat sidostöd. De grova stålpålarna är vanligtvis formade som rör eller H-profiler. (Olsson, 1993, s.75)

9 Geotextiler

I jordbyggnadsarbeten och vid grundstabilisering kan olika syntetiska produkter användas för att få en ökad bärighet. Geotextilerna kan indelas grovt i en-, två- och tredimensionella produkter. Endimensionella produkter är olika band som fungerar som dragförstärkning.

Tvådimensionella produkter är filterdukar och nät. De tredimensionella är konstruktioner sammansatta av tvådimensionella nät för att få draghållfasthet i tre riktningar. (Aalto & Slunga & Tanska & Forsman & Lahtinen, 1998, s. 11)

Vanligaste användningsområden för geotextiler är jordvallar, vägsläntar, förstärkning av vägöverbyggnad, reparation av släntar, lätta och tillfälliga konstruktioner, arbetsplattformar, arbetsplatsvägar, jorrdammar och soptippar. (Geolujitetut maanrakenteet s. 19)

9.1.1 Geonät

Näten är antingen vävda, svetsade eller dragna. De dragna näten tillverkas genom att hålstansa en polymerskiva som sedan töjs, antingen i en eller två riktningar för att förbättra de elastiska egenskaperna. Vävda nät tillverkas genom att buntar på några trådar sammanfogas vid knutpunkterna. I svetsade nät sammanfogas de tvärgående dragelementen genom upphettning.

Näten är tillverkade av olika syntetiska polymerer, dvs. plaster. I dessa kan även tillsättas olika tillsatsmedel vid tillverkning för att förbättra på egenskaperna. I kalla omgivningar är polyeten och polypropen bästa råvarorna för geonäten. I varma förhållanden, som t.ex. vid förstärkning av varm asfalt, är endast polyamid- och polyesterprodukter att föredra. (Aalto, et.al., 1998, s. 11)

Funktionssättet är liknande som i armerad betong. Jordar klarar inte av stora drag- och skjuvkrafter, och meningen är att näten ska ta upp dessa krafter för att öka bärigheten. Näten fungerar endast då friktionen mellan nät och jord är tillräckligt stor, så att krafterna kan överföras effektivt. För att effekten ska bli tillräcklig, bör jorden ha en tillräckligt stor skjuvvinkel. Andra faktorer som påverkar är jordens kornstorlek, jordtryck, densitet, samt material på nätet.

9.1.2 Filterdukar

Dukarna kan delas upp i två olika typer, vävda och icke-vävda. De vävda dukarna består av sammansatta öglor gjorda av en enda tråd. Dessa produkter används endast för att filtrera och skilja olika jordarter från varandra. Deformationen blir stor redan vid låga laster och lämpar sig därför inte för att öka bärigheten. De icke-vävda består av slumpvis organiserade fiber.

Dessa används även som filtrering och för att skilja jordarter från varandra. Dessa är dock styvare och hårdare än de vävda, och har således även en förstärkande effekt i konstruktionen. (Aalto, et.al., 1998, s. 11)

9.1.3 Stålförstärkning

I tillfälliga konstruktioner kan även stålprodukter användas som förstärkning. Vanligtvis är det frågan om vanliga armeringsjärn och – nät. Näten och järnen kan kombineras på olika sätt för att få önskad förstärkande effekt i konstruktionen, t.ex. nät som sammanfogas till ramverk. Stålkvaliteten skall vara minst S235 och bör vara skyddad mot korrosion. Vanligaste korrosionsskyddet är förzinkning av stålet. Detta kan ytterligare förbättras genom ett PVC- eller PE-skal ovanpå. (Liikennevirasto, 2012, s. 15)

9.1.4 Geotextilers funktionssätt

Funktionssätten hos geotextiler kan grovt indelas i två grupper, hydrauliska och mekaniska. De hydrauliska egenskaperna är filtrering, isolering och vattenledning. De mekaniska egenskaperna är frånskiljning, förstärkning och skyddande. Faktorer som påverkar de mekaniska egenskaperna är friktion, materialets sträckgräns, samt flexibilitet. Hydrauliska egenskaperna påverkas främst av materialets tjocklek och hålmängd. (Rathmayer & Juvankoski, 1992, s. 37)

9.1.5 Frånskiljning

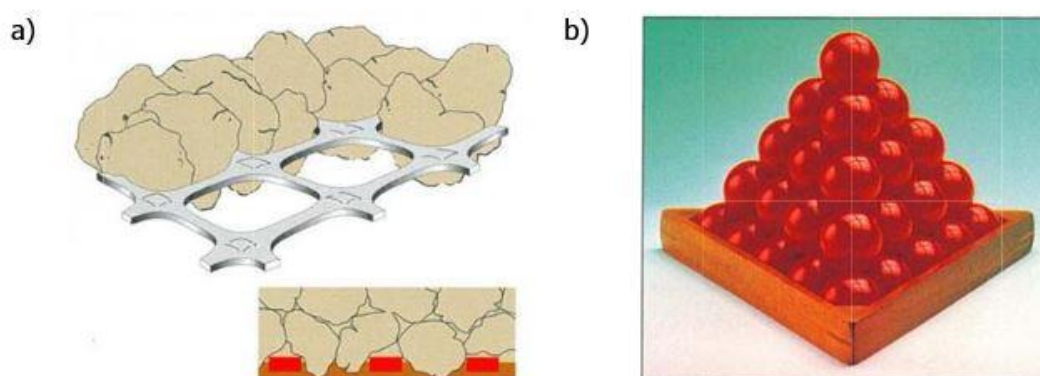
Frånskiljning innebär att geotextilens uppgift är att hålla grovkorniga jordarter permanent frånskilda från finkorniga jordarter. Det kan vara fråga om jordlager som befinner sig bredvid eller ovanpå varandra. En permanent frånskiljning krävs då man vill bevara jordarternas egenskaper. Hålligheterna i geotextilen skall vara mindre än minsta kornstorleken hos jordarna som frånskiljs. Produkten skall även vara tillräcklig stark för att klara av belastningar under installationsarbetet. (Rathmayer & Juvankoski, 1992, s. 37)

9.1.6 Filtrering

Vid filtrering är det meningen att produkten skall filtrera bort överloppsvatten från ovanliggande jordlager. Kraven för geotextilen är samma som vid frånskiljningen, hålligheterna skall vara mindre än minsta kornstorleken hos jorden, men ändå ha en bättre vattengenomtränglighet än jordlagret som dräneras. (Rathmayer & Juvankoski, 1992, s. 38)

9.1.7 Förstärkning

Förstärkning innebär att stärka upp jorden mot drag- och skjuvkrafter och därmed öka bärigheten. Produkter som används för detta är nät som binder ihop jordpartiklarna och jämnar, samt sprider ut spänningarna över en större area. (Rathmayer & Juvankoski, 1992, s. 38)



Figur 7. Geonätens funktionsprincip

- a) Näten binder ihop jordpartiklarna
- b) Nätet stöder jordpartiklarna (Tensar 2002)

10 Pålplattor

Pålplattor är enhetliga armerade pålade plattor. Pålplattor är inte sättningsbenägna konstruktioner och kan anses som fasta konstruktioner. Ovanpå plattan finns jordbanken som en befintlig last. Pålade plattor används i konstruktioner där det inte är tekniskt möjligt, eller ekonomiskt lönsamt att använda sig av övriga grundförstärkningsmetoder. Dessutom används denna typ av förstärkning i konstruktioner där det inte tillåts någon som helst sättning under

hela dess livslängd. Vanligtvis är det frågan om områden med djupt lager sättningsbenägen och mjuk jord där massabyte inte är möjligt och där det inte går att uppnå tillräcklig bärighet med hjälp av andra metoder. Plattor används också vid fundament hos broar och på områden där vibrationer orsakade av vägen eller järnvägen kan orsaka skador för närliggande byggnader.

Plattornas funktion grundar sig på armerade betongpålar eller stålplålar som överför lasterna via plattan från ovanliggande konstruktioner, jordbanken och trafiken ned till fast jord eller berg. Pålarna fungerar alltid som stödpålar för att få en så stabil konstruktion som möjligt.

10.1 Typer av plattor

Det finns tre olika typer av pålplattor som används i Finland. Jämntjocka plattor, svampplattor och balkplattor. Man skall alltid sträva till att tillverka plattorna som enhetliga konstruktioner och all betonggjutning skall göras på en gång. Vid gjutning bör sättningar som kan uppstå i undergrunden under arbetes gång beaktas. Plattorna väljs utifrån deras tekniska egenskaper och – krav. (Liikennevirasto, 2014a, s. 13)

10.1.1 Jämntjocka plattor

Denna typ av platta är snabbast och enklast att konstruera och har större toleranser mot avvikelser i pålarnas placering än de övriga typerna av plattor. Tjockleken är större än i de andra plattorna och är därför inte det billigaste alternativet pga. den större mängden betong som krävs. Tidsbesparingarna blir däremot märkbara, och denna typ lämpar sig för brådskande projekt. (Liikennevirasto, 2014a, s. 13)

10.1.2 Svampplattor

Detta är vanligaste typen av platta i Finland. Efter pålning konstrueras gropar i form av fyrkantiga koner i fyllnadsmaterialet med hjälp av formningsverktyg. Detta kallas för plattans svampdel. Tidsåtgången för att konstruera svampdelen gör att denna typ av platta skiljer sig betydligt från de två andra typerna. Svampplattor kräver en betydligt mindre mängd betong

än jämntjocka plattor. Nackdelen med plattan är att den har väldigt små toleranser för läges- och måttavvikelser pga. den optimerade formen som är väldigt nära den byggnadstekniska maxkapaciteten. Man bör alltid sträva till att gjuta svampdelen och resten av plattan samtidigt. (Liikennevirasto, 2014a, s. 13)

10.1.3 Balkplattor

Balkplattornas funktion grundar sig på en förstärkt och armerad balk som löper längs med pålraderna. Balkarna möjliggör en mindre betong- och armeringsmängd än vid jämntjocka plattor. Dessutom kan man utnyttja större påldimensioner än med andra plattor. Balkarna konstrueras antingen med hjälp av formar, eller genom att forma balkarna i jorden. Nackdelen är de små toleranserna för pålarnas placering, både på längd- och breddriktning. Dessutom kräver denna typ en högre betongmängd än svampplattor. (Liikennevirasto, 2014a, s. 13)

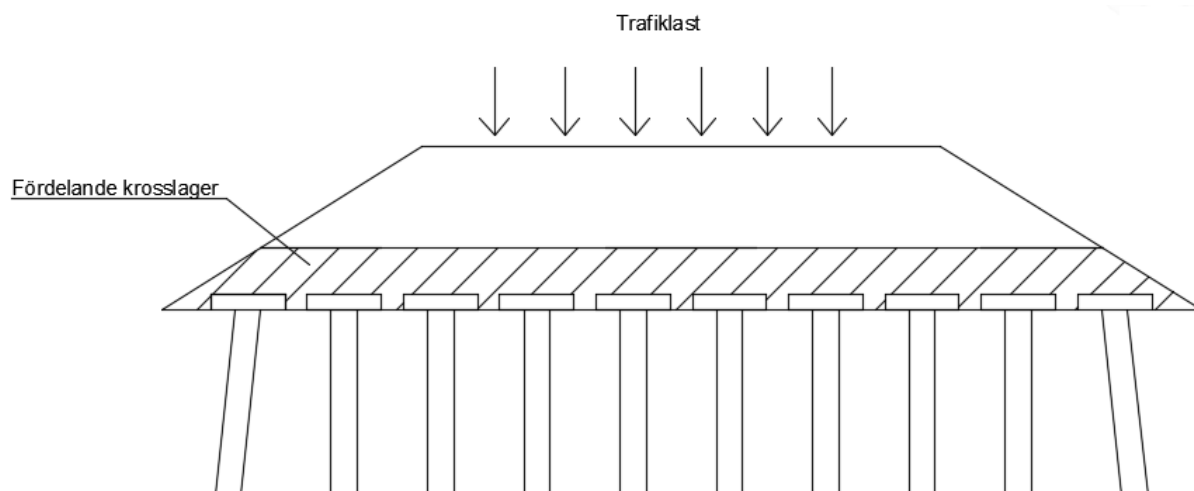
11 Pålhattskonstruktion

Pålhattskonstruktion innebär en konstruktion som består av pålar försedda med så kallade hattar. Mellan och runt pålarna finns ett fördelande lager kross som fördelar lasterna jämt till pålhattarna. Konstruktionen påminner mycket om en pålad platta, men är betydligt snabbare och billigare att konstruera. Avståndet mellan pålhattarna är 0,3 – 0,7 m vid vägkonstruktioner. Avståndet bestäms noggrannare utifrån de geotekniska förhållandena och lasterna som uppstår. I konstruktionen kan även geotextiler användas som tilläggsförstärkning. Dessa möjliggör ett större avstånd mellan hattarna och ger en bättre hållfasthet i horisontell riktning, samt fördelar lasterna jämnare över pålarna.

Denna typ av konstruktion får inte användas i jordar som består av gytta eller torv, eftersom stabiliteten i horisontell riktning inte blir tillräcklig. I dessa fall bör pålplattor som binder ihop pålarna i toppen användas.

Pålhattskonstruktioner används vanligtvis endast vid reparationer av befintliga konstruktioner. Vid nybyggen rekommenderas övriga förstärkningsmetoder. Speciellt vid byggandet av järnväg får inte pålhattskonstruktioner användas på grund av de enorma horisontella lasterna som uppstår vid inbromsningar. Dessa får dock användas som

tilläggsförstärkning vid reparationer, men får inte vara enda förstärkningsmetoden. (Liikennevirasto, 2014a, s. 15)



Figur 8. Pålhattskonstruktion

12 Vertikaldränering

Vertikaldränering innebär att vattnet i jorden dräneras uppåt mot jordytan och vidare till öppna diken. Detta görs med ändamålsenliga dräneringsprodukter som vanligtvis består av en polyesterkärna omsluten av en filtrerande geotextil. Majoriteten av dessa har en dimension på 100 mm * 3 – 6 mm.

Vertikaldräneringen kräver vanligtvis en jordbank som tilläggslast över området som ska dräneras. Jordbanken belastar marken under, sättning uppstår och vattnet pressas genom dräneringsrören upp till ytan. Med denna metod kan dräneringstiden förkortas från flera år till endast några månader. Det finns olika dräneringsprodukter på marknaden för olika jordarter för att få optimalt dräneringsresultat.

Vertikaldränering används mest i lerhaltiga jordar. Då är kravet dock att leran skall vara relativt homogen. En hög humushalt påverkar dräneringsresultatet negativt och sekundärsättningar kan uppstå vid höga humushalter.

Denna metod är oftast ekonomiskt lönsam om det finns tillräckligt med tid för byggnadsarbetet och man kan uppnå en tillräcklig bärighet.

Dräneringsbanden installeras med hjälp av specialutrustning ansedd för ändamålet. Dräneringsbandet placeras i ett skyddsrör som sedan pressas ned i jorden på liknande sätt som vid pålning. När tillräckligt djup nås, lyfts skyddsröret upp ur jorden och dräneringsbandet blir kvar. Metoden är väldigt snabb och det är möjligt att installera uppåt tusentals meter dränering per arbetsdag, beroende på markförhållandena. (Tielaitos, 1994)

13 Valet av grundförstärkningsmetod

I denna del av arbetet behandlas de viktigaste faktorerna som påverkar valet av grundförstärkningsmetod för ett vägbygge, både ur ekonomisk och ur teknisk synvinkel. Här behandlas endast metoderna som används vid grundläggning av väg. Dynamisk komprimering, frysning samt injektering, som togs upp tidigare i detta arbete, används inte vid vägbyggnad i någon större utsträckning och kommer därför inte att behandlas. Metoden som används kan bestämmas relativt enkelt på basis av följande punkter.

13.1 Hållfasthetsegenskaper

Viktigaste hållfasthetsegenskapen inom jordbyggnad är jordmaterialets skjuvhållfasthet. Denna består av friktionen samt kohesionen mellan jordpartiklarna. Skjuvhållfastheten i lera grundar sig endast på kohesion. I grövre jordarter, som till exempel i grus, uppstår skjuvhållfastheten av friktionen mellan jordpartiklarna. Då skjuvhållfastheten för ett material överskrids, uppstår brott. (Jääskeläinen, 2014)

Skjuvhållfastheten och sättningsbenägenheten på den befintliga jorden spelar betydande roll vid bestämning av grundförstärkningsmetoden. Vid väldigt låg skjuvhållfasthet, som till exempel då jorden består av lös lera eller torv, är endast massabyte och pålade plattor metoder att föredra. Pålhattskonstruktioner faller bort som alternativ på grund av att de kräver en tillräcklig bärighet även i horisontell riktning för att inte pålarna ska röra sig i sidled. Med övriga metoder är det inte heller i detta fall möjligt att uppnå tillräcklig bärighet för att uppnå kraven för en vägkonstruktion. T.ex. pelarstabilisering höjer hållfastheten med ca 5 - 15 gånger jämfört med omkringliggande jord, vilket inte räcker till vid vägkonstruktioner då jordmånen är väldigt mjuk. (Liikennevirasto, 2010, s. 13)

Vid höga hållfastheter krävs inte så enorma förstärkningsarbeten. Ifall förstärkning ändå behövs, bör man tänka på att stenrika jordar som t.ex. morän försvårar både pålningsarbete och pelarstabilisering. Även vid massabyten leder steniga och hårda jordarter till en lägre grävastighet.

Tabell 1. Bärigheten för olika jordtyper

Jordart	Förtydning	Förkortning	Klass	Klass	Bärighet
Berg	Berg	Ka	A	A	300 MN / m ²
	Kross	M	A		
Sten		Ki	A	B	200 MN / m ² (150 ... 280)
Grus		Sr	B		
Sandmorän	Inte tjälande	rton SrMr	C	C	100 MN / m ² (70 ... 150)
	Tjälande	SrMr	E		
Sand	Inte tjälande, grov	rton kaHk	C	D	50 MN / m ² (35 ... 70)
	" halvgrov	rton keHk	D		
	" fin	rton hHk	D	E	20 MN / m ² (15 ... 35)
	Tjälande, halvgrov	keHk	E		
	" fin	hHk	E		
Sandmorän	Inte tjälande	rton HkMr	D	E	10 MN / m ² (5 ... 15)
	Tjälande	HkMr	E		
Silt		Si	F	F	5 MN / m ²
Siltmorän		SiMr	F		
Lera	Torrlager (h ≥ 1 m)	Sa	E	G	
	Seg	Sa	F		
	Mjuk	Sa	G		
Gyttja		Lj	G	G	
Torv		Tv	G		

Ur tabellen framgår ett medeltal för bärigheten för olika jordtyper. Ett noggrannare värde för de lokala förhållandena fås genom grundundersökning.

13.2 Avstånd till fast botten

Avståndet till fast botten är en avgörande faktor vid massabyten genom grävning och vid massastabilisering, bortsett från partiella massabyten där den dåligt bärande jordarten endast grävs bort till ett förbestämt djup. Dessa metoder begränsar sig vanligtvis till ett djup på 4 - 5 m. Vid massabyten kan eventuellt djupare arbeten utföras genom att stöda upp schaktet med

stödväggar eller via små släntlutningar. Dessa är dock sällan ekonomiskt effektiva. Vid större avstånd till fast botten är övriga förstärkningsmetoder att föredra. Massabyte genom bankuppfyllning är effektivt till ett ungefärligt djup på 10 m. Pelarstabilisering och vertikaldränering är effektiva metoder ända upp till ett ungefärligt djup på 20 m. Större avstånd än detta kräver pålning, som teoretiskt har en obegränsad längd tack vare skarvning.

Avståndet delas upp vanligtvis i tre olika klasser. Enkelt stabiliserade områden (0 – 3 m) där alla förstärkningsmetoder är tekniskt möjliga att använda. Områden med djupet 3 – 15 m kräver pålning, bankuppfyllning, vertikaldränering eller pelarstabilisering. Djupare än 15 m beräknas som krävande områden där stabiliseringsarbetet är svårt att utföra och är tidskrävande. I dessa fall ställs det höga krav på både planering och grundundersökning.

(Kallio & Ikävalko, 2011, s. 2)

13.3 Byggtid

Byggtiden är en avgörande faktor vid valet av vertikaldränering som förstärkningsmetod. Denna metod kräver en byggtid på 1 – 3 år, beroende på de geotekniska egenskaperna på området. Man kan grovt säga, att ett bättre slutresultat uppnås med vertikaldränering ju längre byggtid som finns till förfogande. Påbörjas byggnadsarbeten på ett vertikaldränerat område för tidigt, kan det ha förödande följder för vägkonstruktioner pga. att sättningen fortfarande pågår. Dessa eftersättningar är farliga eftersom de sker snabbt och är svåra att kontrollera samt åtgärda.

Även pelarstabilisering kräver en lite längre byggnadstid. Vanliga kalkcementpelare har en härdningstid på ungefär en månad tills de når sin dimensionerande bärighet. Ifall belastningen på pelarna överskrider deras sträckgräns ökar byggtiden ytterligare. Denna gräns är ungefär 70 % av pelarens brottgräns. Dessa överskridande laster överförs till omkringliggande jord och sättningar uppstår. Detta kräver några månaders sättningstid.

Störningar som uppstår för trafiken i området kan leda till att arbetstiden måste förkortas. (Liikennevirasto, 2014b, s.57)

Övriga metoder kräver ingen sättningstid eller nämnvärt längre byggtid. För massabyte behövs inte en längre sättningstid eftersom massorna sätter sig under arbetets gång. Vid

pålade plattor bör man beakta härdningstiden för den gjutna betongplattan. (Liikennevirasto, 2014b)

13.4 Grundvatten

Vid planering av grundförstärkning bör man alltid utgå ifrån att inte förorena grundvattnet, eller att permanent ändra dess nivå. I fall där grundvattennivån ändras, krävs en miljökonsekvensbedömning samt miljötillstånd från den lokala myndigheten.

Massabyte kan ha en inverkan på grundvattnet ifall den bortgrävda massan består av lera med låg vattengenomtränglighet och ersätts med t.ex. kross med hög vattengenomtränglighet. Detta förändrar grundvattnets strömningar, nivå och tryck och kan i värsta fall ha en stor inverkan på växtlighet och djurliv i området. Dessutom kan massabyte ha en indirekt och tillfällig inverkan på grundvattnet genom att vatten pumpas bort ur massabytesgropen under arbetets gång.

Vid pelarstabilisering bör fästas uppmärksamhet till att inte stabiliseringsmassan avger föroreningar till grundvattnet.

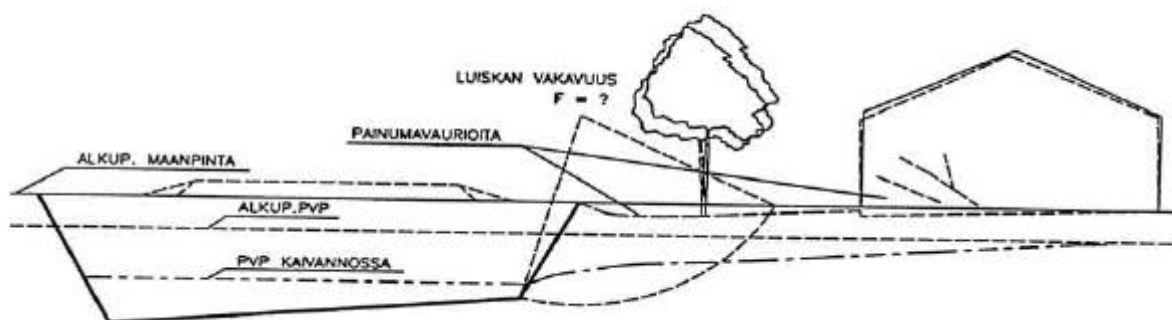
Vertikaldränering sänker grundvattennivån ifall dräneringskanalerna sträcker sig ända ner till de vattenledande jordlagren och grundvattnet är under tryck. Nivåsänkningen kan förhindras genom att nedre delen av dräneringskanalerna lämnas i ett jordlager med dålig vattenledningsförmåga. Vertikaldränering försämrar inte grundvattenkvaliteten eftersom vattnet strömmar långsamt uppåt. (Liikennevirasto, 2012)

13.5 Omgivning

Grundförstärkningsarbeten har diverse miljöpåverkningar för omgivningen. Direkta miljöpåverkningar under arbetets gång består vanligtvis av buller, damm, vibrationer, samt koldioxidutsläpp. Indirekta miljöpåverkningar består av störningar för jordmånen, grundvattnet, djurliv och växtlighet. Dessa bör tas i beaktande vid planering.

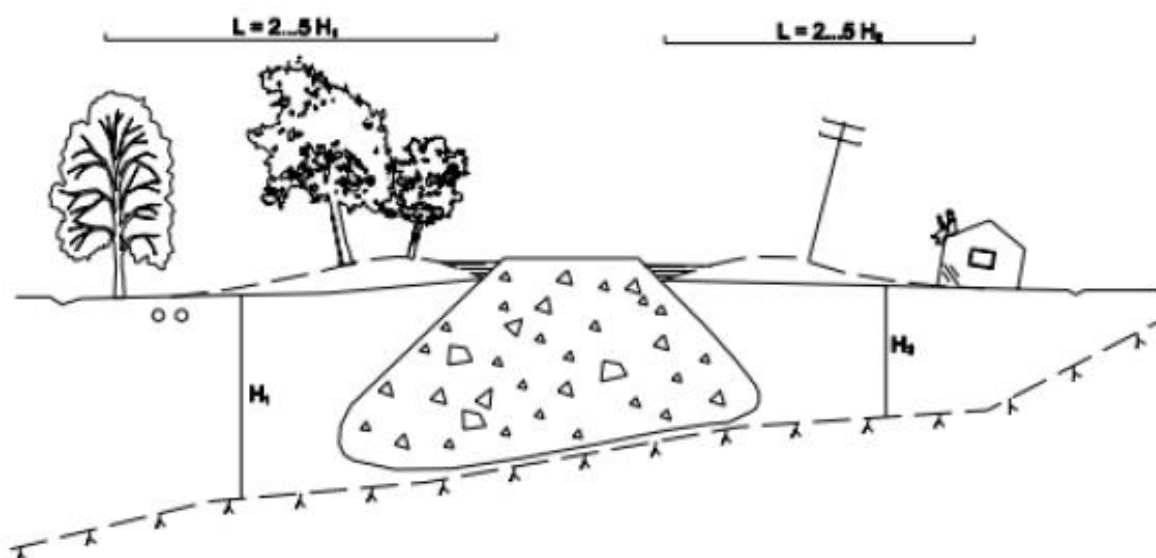
Omgivningen där arbetet utförs har en stor roll i valet av förstärkningsmetod. Inom tätbebyggda områden och inom städer påverkas arbetet av närliggande byggnader. Massabyte som utförs nära byggnader kan i värsta fall orsaka sättningar och skador för byggnaderna.

Ömtåliga byggnader i närheten bör övervakas konstant under arbetets gång och åtgärder vidtas ifall påverkningar på byggnaderna iakttas.



Figur 9. Typisk skada på närliggande byggnad pga. massabyte (Liikennevirasto, 2011)

Vid massabyte genom bankuppfyllning rör sig fyllnadsmassorna även i sidled och orsakar således risk för att omkringliggande jord trycks uppåt och därmed orsakar skador för omgivningen.



Figur 10. Skador som kan uppstå vid massabyte genom bankuppfyllning (Liikennevirasto, 2011)

Pålnings – och pelarstabiliseringsarbeten utförs med höga maskiner och då krävs en tillräcklig fri arbetshöjd. Elledningar och dylikt som finns ovanför och i närheten av

arbetsområdet bör beaktas vid denna sort av stabiliseringsarbete. Speciellt vid arbete nära luftledningar bör fästas stor uppmärksamhet till arbetssäkerheten.

Tabell 2. Säkerhetsavstånd till luftkablar (Työturva)

Minimiavstånd (m)			
	Oisolerad		Isolerad
Spänning kV	Under	Bredvid	
< 1	2	2	0.5
1 ... 45	2	3	1,5
110	3	5	-
220	4	5	-
400	5	5	-

Trafikförhållandena och väntetiderna inom stadstrafik ökar transportkostnaderna och - tiderna markant och vid stora massabytesarbeten bör man sträva till att utföra jordtransporterna utanför rusningstid, alternativt välja annan grundförstärkningsmetod.

Vid jordtransporter på allmänna vägar bör man ta i beaktande nedsmutsningen på vägarna som kan uppstå vid transporterna, samt övriga skador som kan uppstå vid transporter med tunga fordon.

Eventuella vatten – och avloppsledningar, trummor och jordkablar som finns på arbetsområdet och i närheten bör märkas ut och vid behov vidta åtgärder för att inte skada dessa.

Bredden på arbetsområdet är en avgörande faktor. Stödande jordbankarna som behövs vid vertikaldränering kräver ett tillräckligt brett utrymme. Vid väldigt trånga utrymmen är pålning eller pelarstabilisering metoder att föredra. Massabyte orsakar risk för ras vid arbeten nära byggnader. Övriga faktorer som kan påverka valet av grundförstärkningsmetod är övriga trafikleder, kommunalteknik, gränsen för detaljplanen samt övrigt som gör arbetsområdet trångt. (Liikennevirasto, 2014b, s. 56)

Vid grundförstärkningsarbeten i mjuka markförhållanden bör beaktas risken för att arbetsmaskinerna kan sjunka och i värsta fall välta omkull pga. den mjuka jorden. I vissa fall kan det krävas att ett massabytesarbete utförs för att få ett tillräckligt bärande lager som arbetsunderlag för maskinerna.

13.6 Tillgång till byggnadsmaterial och - maskiner

Långa transportsträckor ökar märkbart kostnaderna för byggnadsarbetet. Detta märks främst vid massabyte, både via grävning och via bankuppfyllning, speciellt i fall där det inte finns passligt fyllnadsmaterial inom rimligt avstånd från byggarbetsplatsen. Ifall de bortgrävda massorna inte går att återvinna på byggarbetsplatsen som t.ex. ljudvallar eller som släntstabilisering, transporteras de bort till jordtippar eller andra byggnadsprojekt där massorna kan användas, vilket ytterligare ökar kostnaderna.

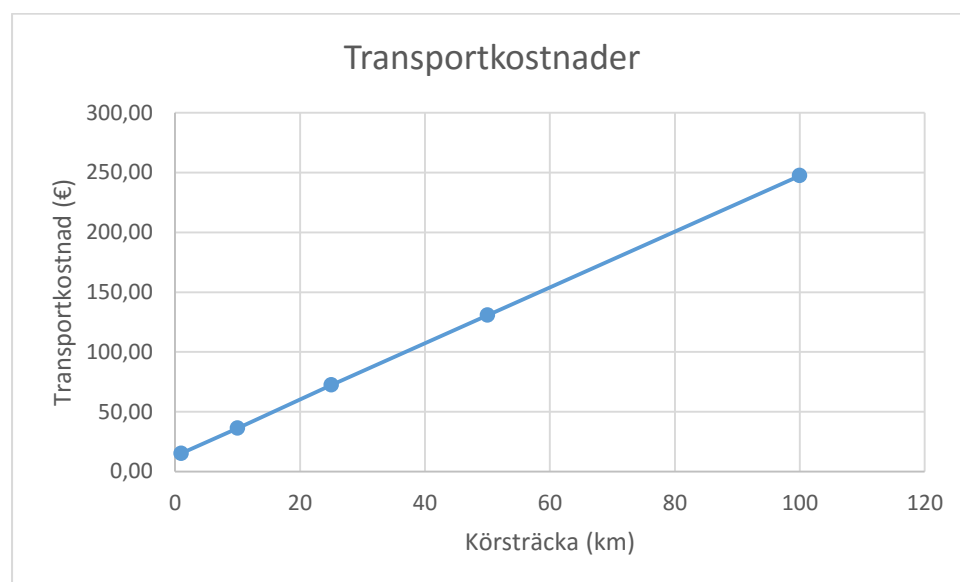
Tabell 3. Arbetstider

Avstånd	Arbetstid min					Returtid
km	3-axlad	4-axlad	5-axlad	Släp	Kasettvagn	min
0,5	10	11	12	14	21	2
1	12	13	14	16	23	3
5	20	21	22	24	31	7
10	30	31	32	34	41	12
15	41	42	43	45	52	17
20	51	52	53	55	62	22
25	61	62	63	65	72	27
>25	+ 2min/km	+ 2min/km	+ 2min/km	+ 2min/km	+ 2min/km	+ 1min/km

Ur tabellen framgår arbetstiden för olika lastbilsstorlekar för olika transportsträckor. I tiden ingår lastning och tur och retur - resan till jordtippen. Dimensionerande lastningshastigheten är 3 m³/min. Transportarbetet faktureras vanligtvis per timme och en längre transportsträcka leder till högre transportkostnader. Därför kan det vara lönsamt ur ekonomisk synvinkel att eventuellt välja en annan grundförstärkningsmetod än massabyte ifall transportsträckorna blir långa. Övriga grundförstärkningsmetoder är inte lika känsliga för långa transportsträckor pga. en mindre mängd transporter. Transportkostnaderna blir inte i lika betydande roll som vid massabyte.

Som exempel kan användas en timdebitering på 70 € / h för en 4 – axlad lastbil. Detta värde är ett ungefärligt medeltal för denna typ av maskin. Sträckorna som jämförs är 1 km, 10 km, 25 km, 50 km och 100 km. Tiderna för transportererna fås utifrån tabell 3 och dessa multipliceras med priset 70 € / h. Som resultat fås en tabell som beskriver transportkostnaderna för en enkel transport för olika körsträckor. Som det framgår ur tabell 4 ökar kostnaderna linjärt med körsträckan.

Tabell 4. Transportkostnader



Tillgången till arbetsmaskiner spelar en viktig roll vid planeringen av arbetet. Speciellt djupstabilisering och vertikaldränering kräver specialutrustning som det inte finns lika bra tillgång till som till de mer traditionella arbetsmaskinerna.

Vid pålningsarbete består majoriteten av pålkostnaderna av mängden pålar, påltyp, samt transportkostnader. Vid pålningsarbete bör de långa leveranstiderna för pålarna beaktas. Fabrikerna kan ha mycket beställningar att hantera samt tillverka samtidigt, och leveranstiderna kan i värsta fall uppgå till flera månader. Fabriker som tillverkar pålar finns runt om landet, med nordligaste fabrikerna i Uleåborgstrakten.

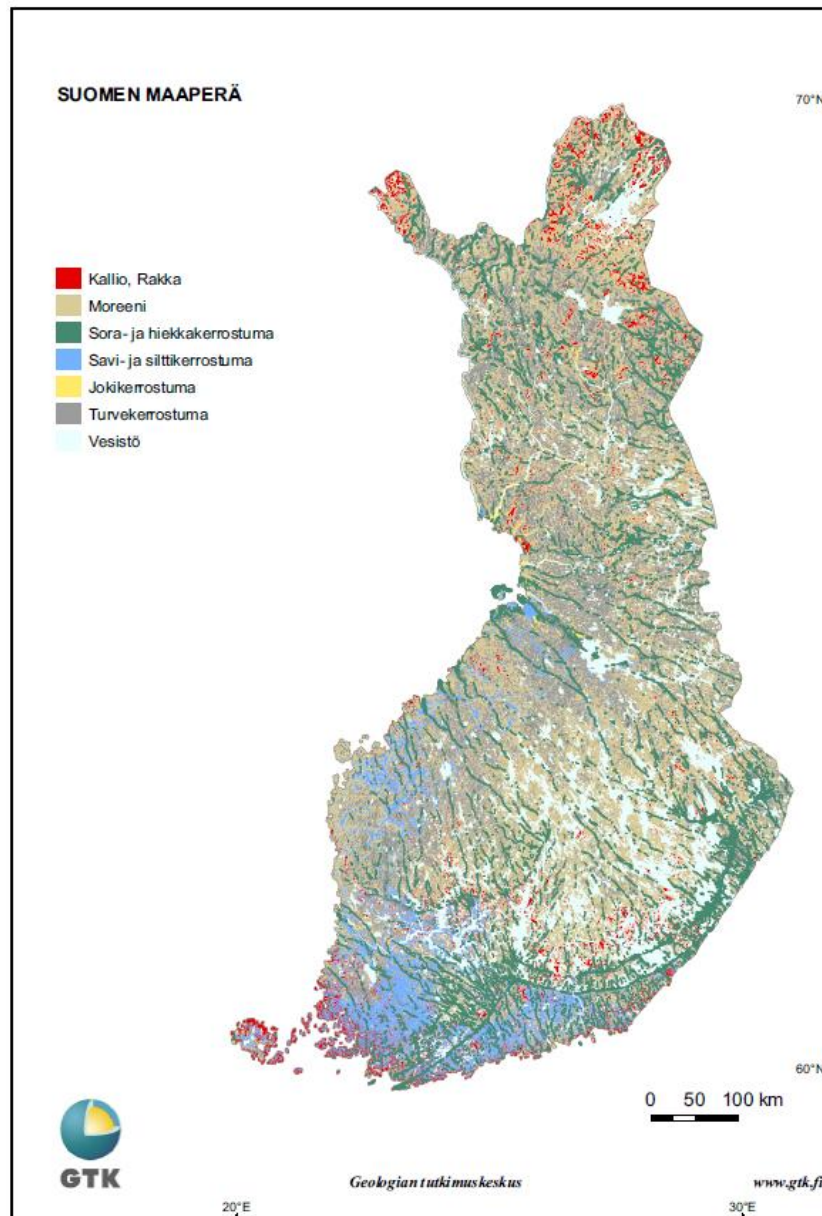
13.7 Jordens aggressivitet

Aggressiv jord innebär att jorden innehåller ämnen som har en korroderande eller frätande effekt på konstruktionerna. T.ex. sura avloppsvatten, havsvatten, industriavfall och sulfidjordar har en frätande och korroderande effekt på armerade betongpålar. Detta bör tas till beaktande vid pålningsarbeten. Aggressiviteten får man reda på via grundundersökningar och geologiska undersökningar. (RIL223 s.27)

Sulfidhaltiga leror har en stor inverkan på pålningsarbete. Så länge sulfiderna inte kommer i kontakt med syre och befinner sig under grundvattenytan har de ingen korroderande effekt, men då jorden exponeras för syre vid pålningsarbete startar den korroderande effekten. Därför krävs specialgjorda pålar med ett tjockare skyddsskikt betong runt armeringsjärnen vid pålning av sulfidhaltiga jordar. (Geologian tutkimuskeskus)

13.8 Geografi

Finland har en varierande jordmån, från de mjuka leriga jordarterna i söder till de hårdare steniga jordarna i norr. Att känna till Finlands geologiska förhållanden kan vara till nytta vid första planeringsskedet före grundundersökningarna har gjorts för att få en grov uppskattning om hurdan jordmån vid projektet kan tänkas vara. De lokala förhållandena och grundundersökningsrapporterna bestämmer ändå i sista hand metoden som används. Nedan Geologiska Forskningscentralens karta över Finlands jordmån.



Figur 11. Geologiska Forskningscentralens karta över Finlands jordmån

13.9 Vibrationer

Vibrationer som förekommer vid jordbyggnadsarbeten skiljer sig från vibrationer orsakade av övrig industriell verksamhet. Största skillnaden är att vibrationerna är temporära och rörliga, dvs. källan som orsakar vibrationerna förflyttar på sig under arbetsprojektets gång. Vibrationskällan befinner sig alltså inte vid samma punkt under hela arbetets gång. Detta gäller främst vägbygge där vibrerande arbeten utförs längs med väglinjen. (Sarsby, R. s. 500)

Att förutspå storleken och utspridningen av vibrationerna som förekommer är svåra eftersom vibrationerna påverkas av jordens geotekniska egenskaper. Dessa egenskaper kan vara totalt annorlunda i byggprojektets omgivning än direkt vid byggprojektet. Därför får man vanligtvis reda på vibrationernas storlek först då arbetet har påbörjats. Problemet med vibrationer inom jordbyggnad är att känsliga områden inte alltid kan avskiljas från områden där vibrationerna uppstår. (Sarsby, R. s.500)

Faktorer som med största sannolikhet orsakar stora vibrationer i omgivningen är sprängningsarbeten, slagning av pålar och brytning av stenmaterial. Även borring av pålar, grävning och komprimering av jordmassor med hjälp av vibrator orsakar vibrationer i viss mån. Dessa är dock vanligtvis så små att de inte behöver beaktas vid planeringen. (Sarsby, R. s.496)

Speciellt vid pålningsarbeten i tätområden eller i närheten av ömtåliga byggnader bör fästas speciell uppmärksamhet till att inte arbetet förorsakar vibrationsskador. De övriga grundförstärkningsmetoderna medför inte någon större risk vibrationsskador på omgivningen.

Grundförstärkningsmetoden som lämpar sig bäst på områden där det kan förekomma vibrationer från lands- eller järnvägstrafik är pålade plattor. Dessa har en bra absorptionsförmåga för vibrationer och dämpar dessa rejält.

13.10 Tolerans

Grundförstärkningen bör planeras så att sättningarna hålls inom tillåtna toleranser, samt att risken för ras och övriga deformationer är minimerad. Sättningar kan orsaka allvarliga skador på vägbyggnaden, speciellt om dessa är ojämna.

Då de tillåtna sättningarna för konstruktionen är minimala, är pålade plattor enda möjliga grundförstärkningsmetoden. Vid broar och järnvägar kan endast några centimeters sättning vara väldigt skadlig för konstruktionen. Speciellt pålade plattor med stödpålar som sträcker sig till berggrunden beräknas vara inte-sättningsbenägna konstruktioner. (RIL156, s.223)

I övriga konstruktioner bör man hitta rätt balans mellan de ökade byggkostnaderna och störningarna för trafiken orsakade av sättningarna, samt reparationskostnaderna. Man kan grovt säga, att ju stadigare konstruktion, desto högre blir byggkostnaderna. (RIL156, s.224)

Ur tabellen nedan framgår hösta tillåtna sättningarna för vägkonstruktioner under en 30 årsperiod. Vid valet av förstärkningsmetoden bör man avväga för- och nackdelarna mellan ökade underhållskostnader och ökade byggkostnader.

Tabell 5. Tillåtna sättningar för vägkonstruktioner under en 30 årsperiod enligt RIL 156

Beläggingsmaterial samt vägtyp	Tillåten sättning (mm)	Tillåten skillnad i lutning	
		Längdriktning %	Tvärriktning %
Asfalt- och grusbeläggning			
Motorvägar	400 ... 700	0,4 ... 0,6	1,0
Riksvägar	500 ... 800	0,5 ... 0,8	1,5
Regionalvägar	600 ... 900	0,7 ... 1,1	2,0
Samlingsvägar	700 ... 1000	0,9 ... 1,6	
Förbindelsevägar	800 ...	1,5 ...	
Betongbeläggning	250	0,5	1,0
Tillåtna sättningens nedre gräns gäller för ohomogena grundförhållanden och övre gränsen för homogena			

13.11 Livscykel

Grundkonstruktionernas planerade brukstid är 100 år. Tillfälliga konstruktioner bör dock planeras enligt deras brukstid. Ifall konstruktionen innehåller delar med varierande brukstid, bör de planeras så att delarna med kortare brukstid kan åtgärdas eller bytas ut, utan att delarna med längre brukstid behöver rivas. (Liikennevirasto, 2012, kap. 6.1.4.)

Att hitta rätta balans mellan underhållskostnaderna under konstruktionens hela brukstid och byggkostnaderna är viktigt ur en ekonomisk synvinkel. Kostnaderna kan påverkas betydligt redan i planeringsskedet genom att bygga på ett område där grundförhållandena är gynnsamma och där det inte behövs massiva grundförstärkningsarbeten. Detta är dock inte alltid möjligt, utan ibland måste konstruktionen grundläggas på områden med svaga grundförhållanden. I dessa fall kan kostnaderna ändå påverkas genom att välja den mest ekonomiskt lönsamma förstärkningsmetoden. (Lindholm & Junnonen, 2012, s. 38)

För att få en inblick över totalkostnaderna för en viss sorts grundförstärkningsmetod, kan följande formel användas:

$$\mathbf{T = P + B + U + R}$$

där

T = Totalkostnaden

P = Planeringskostnader

B = Byggkostnader

U = Underhållskostnader

R = Restvärde

Då målet är att få en så ekonomisk lösning som möjligt, kommer totalkostnaden under en bestämd investeringstid att få sitt minimivärde. (RIL156 s.197)

Som exempelfall kan användas en vägkonstruktion där partiellt massabyte har utförts som grundförstärkning. Byggnadskostnaderna blir lägre än för ett fullständigt massabyte, men underhållskostnaderna ökar pga. sättningar som uppstår och dessa kan leda till sprickbildning och övriga skador i beläggningen som behöver åtgärdas. Med andra ord minskar byggkostnaderna men underhållskostnaderna ökar. Att hitta rätt balans mellan kostnaderna kan vara problematiskt.

13.12 Långtidspåverkningar för de olika metoderna

Grundkonstruktionerna förändras med tiden pga. miljöpåverkan och trafiklast. Dessa påverkningar kan uppstå via tjäle, sättningar, vibrationer, korrosion mm. Här listas de viktigaste faktorerna som påverkar de olika grundförstärkningsmetodernas livslängd.

Pålplattor och pålhattskonstruktioner beräknas vara icke-sättningsbenägna. Ifall sättningar ändå uppstår, är det vanligtvis fråga om allvarliga fel som bör åtgärdas omedelbart. Dessa konstruktioner används vanligtvis i mjuka markförhållanden där skador på förstärkningen kan ha allvarliga påföljder och risken för ras är stor.

Sura markförhållanden har korroderande effekt på betongkonstruktionerna och kan minska deras livslängd betydligt. Livslängden kan beräknas utifrån betongkonstruktionsnormerna med tanke på fuktigheten samt surheten i marken. Vid stålkonstruktioner och stålpelare bör beaktas korrosionen som uppstår.

För påhattskonstruktioner gäller samma funktionsprincip som för pålade plattor. Dessa är dock mer känsliga för horisontella laster än pålade plattor.

Massabyte beräknas vara en oföränderlig konstruktion då den sträcker sig ända ner till ett bärande jordlager som till exempel berg. Partiella massabyten påverkas av sättningar som kan uppstå i det undre jordlagret pga. förändringar i grundvattennivå och trafiklast. Dessa sättningar uppstår i vanliga fall så pass långsamt att de är enkla att upptäcka samt åtgärda.

Långtidspåverkningarna på djupstabiliseringen är inte kända pga. att metoden är relativt ny. Ifall pelarnas hållfasthetsegenskaper minskar betydligt, skulle en större del av lasterna överföras till omkringliggande jord och därmed bidra till ökade sättningar. Vid partiell pelarstabilisering gäller samma principer som för partiellt massabyte.

Vid vertikaldränering snabbas sättningarna att ske under en tidsperiod på några år. Att förlitligt kunna bestämma när sättningarna har stannat är problematiskt. Risken för sekundärsättningar under brukstiden finns och dessa kan orsaka skador för konstruktionen. Dessa sker dock långsamt och risken för ras är minimal.

13.13 Jordens stenighet

Den befintliga jordens stenighet påverkar alla grundförstärkningsmetoderna. En stor mängd stenar, både i matjorden och i underliggande jordlager, leder till att arbetet blir mer tidskrävande att utföra, samt att det ställer till med vissa tekniska svårigheter.

Enligt tabellen *Maankaivun työvuorokapasiteetti K3* i Ratu 12 – 0248, blir grävastigheten och – kapaciteten vid arbete i stenrik morän ca 20 – 30 % lägre jämfört med mjuk lerjord. Detta har en direkt inverkan på kostnaderna för ett massabytesarbete. Grävklass D innebär stenrika moränjordar, samt områden där tjälen sträcker sig djupt. Grävklass A innebär mjuka jordar så som torv och lera. (Rakennustieto, 2003)

Tabell 6. Grävkapaciteten för olika jordslag (Ratu 12 – 0248)

Kaivuluokka	Hydraulisen kaivukoneen paino (tonnia)					
	11	14	17	21...25	30...35	
(A) E1-E3, H1, H2, K1	95 59	105 66	115 72	135 84		m ³ itd/h m ³ ktr/h
(B) K2 tai (A) + routaa 40 cm	85 65	95 73	105 81	130 100	160 123	m ³ itd/h m ³ ktr/h
(C) H3, M1, M2 tai (B) + routaa 40–50 cm		85 57	95 63	115 77	150 100	m ³ itd/h m ³ ktr/h
(D) M2, M3 tai (C) + routaa 50–60 cm			80 53	100 67	135 90	m ³ itd/h m ³ ktr/h

Pålningensarbete samt djupstabilisering påverkas genom att en stor mängd stenar orsakar svårigheter för pålarna och matningsändan för pelarstabiliseringen att sänkas ner i jorden. Stora stenar kan orsaka att pelarna viker sig då de träffar stenarna eller i värsta fall orsaka knäckningar (betongpelaren bryts av). Samma principer gäller även för vertikaldränering om den stabiliserade lerjorden innehåller mycket stenar.

Även arbetstiden för pålning ökar betydligt då jorden innehåller mycket stenar. Enligt tabellen i Ratu 14 – 0250 minskar pålningskapaciteten med ca 40 % vid pålningsarbeten i stenrika jordar jämfört med mjuka jordar. Detta har en direkt inverkan på arbetskostnaderna. (Rakennustieto, 2003)

Tabell 7. Arbetskapacitet för pålning i olika jordarter (Ratu 14 – 0250)

Työnosa	Työryhmä	Työmenekki		Ryhmän työsaavutus	
Paalutus, betonipaalu					
– pehmeä helposti paalutettava maa					
– paalutussyvyys 0...10 m	paalutuskone 2 paaluttajaa	0,023 0,046	kone-h/m tth/m	43	m/h
– paalutussyvyys 10... m	paalutuskone 2 paaluttajaa	0,018 0,036	kone-h/m tth/m	56	m/h
– normaali paalutettava maa					
– paalutussyvyys 0...10 m	paalutuskone 2 paaluttajaa	0,035 0,070	kone-h/m tth/m	29	m/h
– paalutussyvyys 10... m	paalutuskone 2 paaluttajaa	0,028 0,055	kone-h/m tth/m	36	m/h
– kivinen tai kovia kerroksia sisältävä maa					
– paalutussyvyys 0...10 m	paalutuskone 2 paaluttajaa	0,040 0,080	kone-h/m tth/m	25	m/h
– paalutussyvyys 10... m	paalutuskone 2 paaluttajaa	0,032 0,063	kone-h/m tth/m	32	m/h

Stora stenar som lämnas kvar i konstruktionen kan även orsaka övriga skador på konstruktionen, som t.ex. tjälskador och skador på elkablar och rör.

14 Grundförstärkning i Österbotten

Grundförstärkningsarbeten i Österbotten har vissa skillnader med liknande arbeten i resten av Finland med tanke på ekonomiska och tekniska faktorer.

14.1 Geotekniska förhållanden

Enligt Geologiska Forskningscentralens karta över Finlands jordmån består en stor del av Österbottens jordmån av lera. Detta leder till mer krävande förhållanden för grundförstärkningsarbeten, samt ett större behov för dessa. I resten av landet, med kustregionen utesluten, består majoriteten av jordmånen av en sort med högre hållfasthet, samt mindre sättningsbenägenhet.

Österbottens jordmån innehåller dessutom mycket stenar, vilket leder till problemen som beskrivs i kapitel 12.13. Steniga jordarten har uppstått under istiden av stenmaterial som har nöts loss av isen. (Ympäristöhallinto)

Största skillnaden mellan lerjordarna vid kusten och resten av landet är att den Österbottniska lerjorden innehåller sulfider som leder till en aggressiv jordmån. Sulfiderna ställer högre krav på betong- och stålqualiteten vid pålningsarbeten. Även vid massabyten ställer den borttransporterade sulfidhaltiga jorden till med vissa problem. De borttransporterade massorna bör lagras så att de inte orsakar miljöskador för omgivningen.

14.2 Ekonomiska faktorer

INFRA Österbotten rf har ca 130 medlemmar med en total omsättning på 150 miljoner euro. Ca 75 % av dessa företag har färre än 5 anställda och ca 20 % av företagen har en personal på 5 – 20 personer. Endast 5 % av företagen har fler än 20 anställda. För småföretag är det sällan ekonomiskt lönsamt att inskaffa mycket specialutrustning, utan de inriktar sig mer på ett specifikt arbetsområde. Större företag har vanligtvis ett mer omfattande arbetsområde och de

utför infraprojekt av flera olika slag. Ett typiskt infraföretag har en utrustning som infattar grävmaskin, traktor, lastbil, samt eventuellt någon sort av dumper. Dessutom har företag som t.ex. inriktar sig på kabelarbeten specialutrustning för detta. (Infra.fi)

Enligt Finlands teknologiska forskningscentral (VTT) underökning utförs ca 13 % av alla Finlands infraprojekt i Österbotten. Enligt samma undersökning koncentreras största delen av byggprojekten på metropolområden och vid större städer där befolkningstillväxten är stor. (Vainio, T. & Nippala, E)

Enligt Finlands teknologiska forskningscentral (VTT) finansieras 95 % av allt byggande och underhåll av landsvägar i Finland av staten. Detta innebär att för alla dessa projekt gäller offentlig upphandling, dvs. vem som helst kan göra en offert och erbjuda sig att ta arbetet. Entreprenören som utför arbetet bestäms vanligtvis via det lägsta priset. Detta påverkar prisnivån genom att de österbottniska infraentreprenörerna måste ta projekt som befinner sig i andra delar av landet för att överleva. (Vainio, T. & Nippala, E)

Sammanfattningsvis kan konstateras att speciellt större Österbottniska infraföretag måste ta projekt från övriga delar av landet och t.o.m. från andra länder där projekten är fler till antalet. Företagen måste dock utföra projekten till ett lägre pris än andra för att få dessa, vilket leder till lägre vinstmarginal. Småföretagare påverkas inte i samma utsträckning eftersom projekten som dessa utför är små.

15 Sammanfattning och diskussion

Största delen av arbetet har varit att läsa handböcker som behandlar ämnet och sammanfatta dessa till en helhet. Arbetet har gett en väldigt bra inblick i dessa faktorer som påverkar valet av grundförstärkningsmetoden. Arbetet har även gett en väldigt bra allmänblick i jordbyggnadsarbeten och dessa kunskaper går även att tillämpa på flera andra projekt inom infrabyggande.

Examensarbetet går även att användas som undervisningsmaterial för introduktionskurser inom infrabyggande. I Finland finns väldigt lite källor om ämnet på svenska och detta arbete sammanfattar de viktigaste principerna för de olika grundförstärkningsmetoderna till en enda helhet.

Största problemen med arbetet har varit att hitta lämpliga källor, samt att kunna avgränsa arbetet på rätt sätt och inte fördjupa sig för mycket på en viss del. Infrabyggande är mer allmängiltigt än husbyggnad och handböckerna och källorna grundar sig mer på erfarenheter än beräkningar.

Sammanfattningsvis kan konstateras, att vid vägbyggnadsprojekt påverkas arbetet av många olika faktorer som bör beaktas vid planering. Att sträva efter en lämplig balans mellan de ekonomiska och tekniska faktorerna är viktigt både för beställaren samt entreprenören. Man kan grovt säga att ju högre byggnadskostnader, desto lägre blir underhållskostnaderna och tvärtom.

Slutligen vill jag tacka Tom Lipkin för detta arbete, samt för handledningen under arbetets gång.

Källförteckning

- Aalto, A., Slunga, E., Tanska, H., Forsman, J. & Lahtinen, P., (1998) *Synteettiset Geovahvisteet. Suunnittelu ja rakentaminen*. Tammerfors: Tammer-Paino Oy
- Geologian tutkimuskeskus (2009), *Happamien sulfaattimaiden haitat hallintaan*. Kokkola: Geologian tutkimuskeskus
- ITS-Vahvistus Oy (u.ä.) *Injektointi* [Online] www.its-vahvistus.com/fi/palvelut/erikoisurakointi/injektointi (Hämtat 30.3.2016)
- Jääskeläinen, R., (2014) *Geotekniikan Perusteet*. Tammerfors: Tammertekniikka
- Jääskeläinen, R., (2009) *Pohjarakennuksen Perusteet*. Tammerfors: Tammertekniikka
- Kallio, H. & Ikävalko, O., (2011) *Maaperän rakennettavuusselvitys – Östersundom*. Esbo: Geologian tutkimuskeskus
- Liikennevirasto (2012) *Geolujitetut Maanrakenteet*. Helsingfors: Liikennevirasto
- Liikennevirasto (2011) *Massanvaihdon suunnittelu*. Helsingfors: Liikennevirasto
- Liikennevirasto (2014a) *Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu*. Helsingfors: Liikennevirasto
- Liikennevirasto (2010) *Syvästabiloinnin Suunnittelu*. Helsingfors: Liikennevirasto
- Liikennevirasto (2012) *Tien Geotekninen Suunnittelu*. Helsingfors: Liikennevirasto
- Liikennevirasto (2014b) *Tien perustamistavan valinta*. Helsingfors: Liikennevirasto
- Lindholm, M. & Junnonen, J-M., (2012) *Infrahankkeen Tuotannonhallinta*. Helsingfors: Suomen Rakennusmedia Oy
- Nauska, J. & Havukainen, J. (1998) *Esirakentaminen 1998*. Helsingfors: Kiinteistövirasto
- Nordkalk (u.ä.) *Kalkkipohjaiset stabilointituotteet*. [Online] www.nordkalk.fi (Hämtat 30.3.2016)
- Olsson, C., (1993) *Pålgrundläggning*. Solna: Svensk Byggtjänst
- Rakennustieto, (2010) *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1. Väylät ja alueet*. Helsingfors: Rakennustieto Oy

- Rakennustieto, (2003a) *Paalutus 14 – 0250*, Rakennustieto Oy
- Rakennustieto, (2003b) *Maankaivu 12 – 0248*, Rakennustieto Oy
- Rathmayer, H. & Juvankoski, M. (1992) *Geosyntheettiset tuotteet georakentamisessa*. Helsingfors: Rakennustieto Oy
- Sarsby, R., (2000) *Environmental Geotechnics*. London: Thomas Telford Publishing
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. (2005) *Lyöntipaalutusohje LPO-2005*. Helsingfors: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. (2011) *Paalutusohje 2011*. Helsingfors: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. (1995) *RIL 156 Maanrakennus*. Helsingfors: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- Tiehallinto (1999) *Teräsputkipaalut*. Helsingfors: Edita Oy
- Tielaitos (1994) *Nauhapystyöjitus*. Helsingfors: Tielaitos
- Vainio, T. & Nippala, E. (2013) *Infrarakentamisen rakenne ja kehityksen ennakointi*. [Online] http://www.vtt.fi/sites/infra2030/Documents/Infrarakentamisen_rakenne_27-2-2013.pdf (Hämtat 30.3.2016)
- Whitlow, R., (1995) *Basic Soil Mechanics* (3. uppl.). Essex: Addison Wesley Longman Limited
- Ympäristöhallinto, (2014) *Pohjois-Pohjanmaan maaperä* [Online] <http://www.ymparisto.fi> (Hämtat 4.4.2016)

Figurförteckning

Figur 1. Spetsen på en CPT-sond

Figur 2. Typisk vingborr

Figur 3. Pelarstabilisering

Figur 4. Spetsburen påle

Figur 5. Friktionspålar

Figur 6. Kohesionspåle

Figur 7. Geonätens funktionprincip

Figur 8. Pålhattskonstruktion

Figur 9. Typisk skada på närliggande byggnad pga. massabyte

Figur 10. Skador som kan uppstå vid massabyte genom bankuppfyllning

Figur 11. Geologiska Forskningscentralens karta

Tabellförteckning

Tabell 1. Bärigheten för olika jordtyper

Tabell 2. Säkerhetsavstånd till luftkablar

Tabell 3. Arbetstider

Tabell 4. Transportkostnader

Tabell 5. Tillåtna sättningar för vägkonstruktioner

Tabell 6. Grävkapaciteten för olika jordslag

Tabell 7. Arbetskapacitet för pålning i olika jordarter